



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ
ΜΙΑ ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΚΑΤΣΙΡΟΥΜΠΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΑΤΣΟΠΟΥΛΟΣ – ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2021

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η τεχνο-οικονομική ανάλυση της αγοράς των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και των σταθμών ηλεκτρικής φόρτισης σε παγκόσμιο επίπεδο και στα δεδομένα της Ευρωπαϊκής αγοράς.

Πιο συγκεκριμένα, αναλύονται οι τεχνολογίες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων που κυκλοφορούν στην παγκόσμια αγορά σήμερα, καθώς και οι πιο ισχυρές τεχνολογικές τάσεις που θα οδηγήσουν τις εξελίξεις τα επόμενα χρόνια. Επιπρόσθετα, καταγράφονται τα σημερινά δεδομένα για τους σταθμούς ηλεκτρικής φόρτισης, τόσο στην παγκόσμια αγορά, όσο και στο οδικό δίκτυο της Ευρώπης.

Στη συνέχεια αναλύονται τα οικονομικά στοιχεία της αγοράς των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, αποτυπώνοντας τα χαρακτηριστικά τους σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα εσωτερικής καύσης ως προσφερόμενη αξία στους καταναλωτές. Τέλος, προτείνονται εναλλακτικά επιχειρηματικά μοντέλα για την αύξηση του μεριδίου αγοράς των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, καθώς και κρατικές πρωτοβουλίες που θα ήταν χρήσιμες για την περαιτέρω διάδοσή τους, για μία μελλοντική αυτοκίνηση μακροπρόθεσμα βιώσιμη με το ελάχιστο δυνατό αποτύπωμα άνθρακα.

Λέξεις Κλειδιά: Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα, Σταθμοί Ηλεκτρικής Φόρτισης, Ευρωπαϊκό Οδικό Δίκτυο, Εκπομπές Ρύπων, Επιχειρηματικά Μοντέλα.

ABSTRACT

The purpose of this dissertation is the technical and economical analysis of electric cars and charging stations in the global and European market.

More specifically, the most common technologies of electric cars are analyzed, as well as the most trending technologies which will lead the developments in the coming years. The next chapter refers to the current status of charging stations on a global scale as well as in the road network of Europe.

Furthermore, the electric cars market data are analyzed, comparing their characteristics to the conventional internal combustion vehicles regarding the offered value to the end customers.

Finally, alternative business models are proposed to increase the market share of electric cars, as well as government initiatives which would be useful for their further dissemination, for a future long-term sustainable automobile industry with the least possible carbon footprint.

Keywords: Electric Cars, Charging Stations, European Road Network, Pollutant Emissions, Business Models.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε στη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου το ακαδημαϊκό έτος 2020-2021, στα πλαίσια της ενασχόλησής μου με το μεταπτυχιακό πρόγραμμα «Τεχνοοικονομικά Συστήματα». Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γεώργιο Ματσόπουλο, καθηγητή Ε.Μ.Π., για τη βοήθεια και την εμπιστοσύνη που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της εργασίας μου.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την υπομονή τους και την υποστήριξη που μου παρείχαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Οκτώβριος 2021

Παναγιώτης Κατσιρούμπας

Περιεχόμενα

1. Ηλεκτρικά και Υβριδικά Αυτοκίνητα	1
1.1. Εισαγωγή	1
1.2. Κύριες Έννοιες, Διαχείριση Ενέργειας και Στρατηγικές Φόρτισης	2
1.3. Από τα υβριδικά στα ηλεκτρικά οχήματα.....	4
1.3.1. Διαχείριση Ενέργειας στα Υβριδικά Οχήματα	9
1.4. Ηλεκτρικά Οχήματα.....	14
1.5. Επιλογές Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων και Υποδομές	16
1.6. Ενέργεια, Οικονομία και Περιβάλλον	19
2. Σταθμοί Ηλεκτρικής Φόρτισης	25
2.1. Σταθμοί Ταχείας Φόρτισης	29
2.2. Πρότυπα Φόρτισης Ηλεκτρικών και Υβριδικών Οχημάτων	30
2.2.1. Πρότυπο SAE J1772.....	31
2.2.2. Πρότυπο CHAdeMO	32
2.2.3. Πρότυπο IEC 62196.....	32
2.2.4. Πρότυπο Combined Charging System.....	33
2.2.5. Tesla Supercharger.....	34
2.3. Σταθμοί Ηλεκτρικής Φόρτισης στο Ευρωπαϊκό Οδικό Δίκτυο	35
2.3.1. Η Ανομοιόμορφη Ανάπτυξη του Δικτύου Φορτιστών στο Ευρωπαϊκό Οδικό Δίκτυο	41
2.3.2. Κοινά Ευρωπαϊκά Πρότυπα Φόρτισης	44
2.4. Σταθμοί Ηλεκτρικής Φόρτισης στο Ελληνικό Οδικό Δίκτυο.....	50
3. Ηλεκτρικά Οχήματα – Θέση στην Αγορά, Επιχειρηματικά Μοντέλα & Μελλοντικές Τάσεις	56
3.1. Η προσέγγιση των καταναλωτών στην ηλεκτροκίνηση	58
3.1.1. Πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων έναντι των συμβατικών εσωτερικής καύσης.....	59
3.1.2. Μειονεκτήματα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων έναντι των συμβατικών εσωτερικής καύσης.....	61
3.2. Βασικά Οικονομικά Μεγέθη.....	68
3.2.1. Καμπύλη κόστους υβριδικών οχημάτων	68
3.2.2. Καμπύλη κόστους ηλεκτρικών οχημάτων	70
3.3. Επιχειρηματικά Μοντέλα για την Εμπορική Ενίσχυση των Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων	72
3.3.1. Ορισμός ενός Επιχειρηματικού Μοντέλου	72
3.3.2. Το Παραδοσιακό Επιχειρηματικό Μοντέλο και τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα	73

3.3.3. Εναλλακτικά Επιχειρηματικά Μοντέλα για τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα ...	74
3.4. Επιχειρηματική Προσέγγιση των Σταθμών Ηλεκτρικής Φόρτισης.....	88
3.4.1. Εταιρείες με συμμετοχή στον τομέα της ηλεκτρικής φόρτισης.....	90
3.4.2. Επιχειρηματικά μοντέλα για την ιδιοκτησία και διαχείριση σταθμών ηλεκτρικής φόρτισης.....	93
3.5. Πολιτικές για την Εμπορική Ενίσχυση των Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων.....	97
3.6. Συμπεράσματα - Προτεινόμενες Μελλοντικές Ενέργειες	100
Βιβλιογραφία	102

1. Ηλεκτρικά και Υβριδικά Αυτοκίνητα

1.1. Εισαγωγή

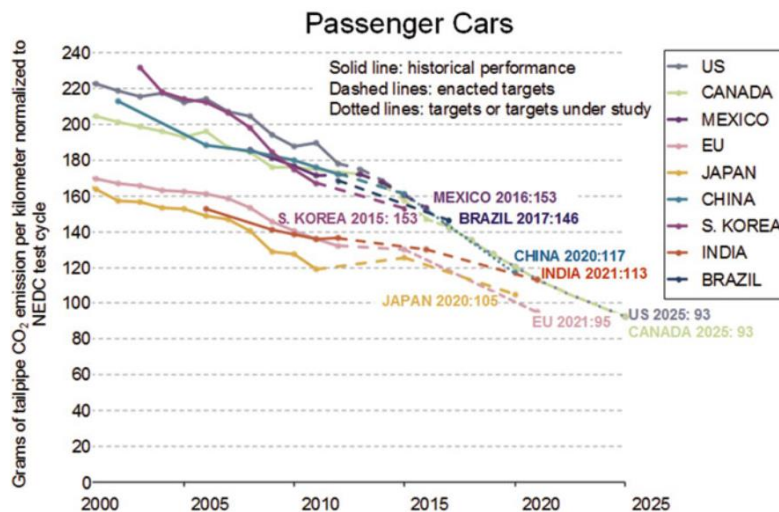
Τα ηλεκτρικά οχήματα και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αναμένεται να διαδραματίσουν θεμελιώδη ρόλο στη μείωση τεράστιων ποσοτήτων εκπομπών άνθρακα που προκαλούνται τόσο από τους τομείς μεταφοράς όσο και από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά συνέπεια, η μετάβαση προς βιώσιμα συστήματα μεταφορών καθίσταται ένα κρίσιμο ζήτημα που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι διάφοροι φορείς που εμπλέκονται σε αυτούς τους τομείς. Σε αυτό το πλαίσιο, τα οδικά οχήματα, βασισμένα σε πλήρη ηλεκτρικά ή υβριδικά συστήματα κίνησης, αποτελούν μια πολύ ενδιαφέρουσα ευκαιρία για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων που αφορούν την εξάρτηση της σημερινής βιομηχανίας από τα ορυκτά καύσιμα.

Στο πρώτο μέρος της διπλωματικής εργασίας αναλύονται τα κύρια ζητήματα που σχετίζονται με την αντικατάσταση των συμβατικών οχημάτων εσωτερικής καύσης από τα ηλεκτρικά οχήματα, η οποία είναι απαραίτητη για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών άνθρακα στον τομέα των μεταφορών. Γίνεται αναφορά σε τεχνολογίες κίνησης οχημάτων, καθώς και σε ζητήματα έξυπνης διαχείρισης ενέργειας για ηλεκτρικά οχήματα. Στη συνέχεια αναλύονται ενεργειακά συστήματα, οικονομικά και περιβαλλοντικά θέματα, καθώς και οι επιπτώσεις των στρατηγικών φόρτισης στο ηλεκτρικό δίκτυο. Τέλος, μελετώνται ορισμένα ζητήματα που είναι σημαντικά για την αποδοχή των ηλεκτρικών οχημάτων και την εξάπλωσή τους στην αγορά - όπως ασφάλεια, διάρκεια ζωής μπαταρίας και βέλτιστο μέγεθος, υποδομές φόρτισης και επιχειρηματικά μοντέλα.

1.2. Κύριες Έννοιες, Διαχείριση Ενέργειας και Στρατηγικές Φόρτισης

Ίσως δεν υπάρχει πιο χαρακτηριστικό σύμβολο του εικοστού πρώτου αιώνα από το αυτοκίνητο - το κυρίαρχο μεταφορικό μέσο που αποτελεί προτεραιότητα στις αγορές όλου του κόσμου. Σήμερα, η ενέργεια για προσωπική μεταφορά προέρχεται κυρίως από πετρέλαιο, το οποίο χρησιμοποιείται με τη μορφή βενζίνης ή ντίζελ σε συμβατικά οχήματα που κινούνται με κινητήρες εσωτερικής καύσης. Η ελαχιστοποίηση κατανάλωσης του πετρελαίου στις μεταφορές έχει γίνει, ως εκ τούτου, ένας σημαντικός στόχος για την αυτοκινητοβιομηχανία και τους κρατικούς φορείς διεθνώς.

Σήμερα, οι πιο βιώσιμες επιλογές περιλαμβάνουν βελτιώσεις στην οικονομία καυσίμου στα συμβατικά οχήματα, υβριδοποίηση / ηλεκτροκίνηση οχημάτων και προσφυγή σε εναλλακτικά καύσιμα (φυσικό αέριο, υγραέριο, βιοντίζελ κ.λπ.). Τα επιβατικά αυτοκίνητα απαιτούνται από το νόμο να γίνονται όλο και πιο αποδοτικά στην καύση και φιλικά προς το περιβάλλον. Στις ΗΠΑ, η Εθνική Διοίκηση Ασφάλειας Κυκλοφορίας Αυτοκινητόδρομων (NHTSA) θέσπισε πρόσφατα πρότυπα για την ταχεία αύξηση των επιπέδων της Μέσης Οικονομίας Καυσίμου (CAFE) τα επόμενα χρόνια, ενώ σε άλλες χώρες τα πρότυπα απόδοσης καυσίμου ρυθμίζονται μέσω περιορισμού εκπομπών CO₂ και είναι πολύ πάνω από εκείνες των ΗΠΑ (Εικ. 1.1).



Εικόνα 1.1. – Στόχοι αποδοτικότητας εκπομπών CO₂ gr/km κανονικοποιημένοι με βάση τον νέο Ευρωπαϊκό Κύκλο Οδήγησης [1]

Ανεξάρτητα από τις τεχνολογικές βελτιώσεις και τις νομοθετικές απαιτήσεις, οι καταναλωτές θα είναι οι βασικοί μοχλοί στην ανάπτυξη εναλλακτικών οχημάτων καυσίμων. Το υψηλότερο κόστος, η περιορισμένη χιλιομετρική αυτονομία και ο μεγάλος χρόνος επαναφόρτισης αποτελούν σοβαρά μειονεκτήματα που περιορίζουν τη διείσδυση στην αγορά σχεδόν όλων των οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων στον τομέα των μεταφορών σε επίπεδο ΙΧ. Η επιλογή ενός συγκεκριμένου τύπου οχήματος έναντι άλλων επιλογών είναι περίπλοκη και περιλαμβάνει μια ποικιλία υποκειμενικών παραγόντων σχετικά με το εισόδημα, τη νοοτροπία του καταναλωτή απέναντι σε πιο καθαρές τεχνολογίες, πρακτικές ανάγκες κ.ά. Η αυτοκινητοβιομηχανία επικεντρώνεται σε οχήματα εναλλακτικών καυσίμων και μια ποικιλία συγκεκριμένων τεχνολογιών και στρατηγικών, όπως downsizing κινητήρων, τεχνολογίες άμεσου ψεκασμού και λειτουργία μεταβλητών βαλβίδων, μείωση βάρους και ήπιος υβριδισμός (συμπεριλαμβανομένων κινητήρων start - stop) για την επίτευξη μεγαλύτερης οικονομίας καυσίμου στα συμβατικά οχήματα.

Καθώς η ζήτηση για μεταφορές συνεχίζει να αυξάνεται σε όλο τον κόσμο, τα περιβαλλοντικά και ενεργειακά προβλήματα καθιστούν γρήγορα τα συμβατικά αυτοκίνητα μή βιώσιμα για την κοινωνία μας. Έτσι, ο ρόλος του αυτοκινήτου στο μέλλον πρέπει να επανεξεταστεί με αυστηρά κριτήρια. Τα οχήματα γίνονται μέρος ενός πολύ μεγαλύτερου «ενεργειακού οικοσυστήματος», όπου πέραν της βασικής μεταφοράς, η πληροφορία, η επικοινωνία και η βελτιστοποίηση παίζουν βασικό ρόλο. Κατά συνέπεια, η έρευνα κινείται γρήγορα προς την ηλεκτροκίνηση οχημάτων που συμβάλλει στην ενίσχυση τόσο του τομέα των μεταφορών όσο και του ηλεκτρισμού. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι η μόνη δυνητική πηγή ενέργειας για μεταφορά που ικανοποιεί την ταυτόχρονη ανάγκη για ποικιλομορφία καυσίμων, ενεργειακή ασφάλεια, μειώσεις των εκπομπών για την αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου και βελτιώσεις στην ποιότητα του αέρα. Επίσης είναι ευρέως διαθέσιμη μορφή ενέργειας με δυνατότητα διεσπαρμένης παραγωγής κοντά στον καταναλωτή. Ωστόσο, ο αντίκτυπος της φόρτισης εκατομμυρίων οχημάτων από το ηλεκτρικό δίκτυο θα μπορούσε να είναι σημαντικός, π.χ., με τη μορφή αυξημένου φορτίου σταθμών παραγωγής ενέργειας, γραμμών μεταφοράς και διανομής, εκπομπών και οικονομίας. Επομένως, το ζήτημα της φόρτισης πρέπει να εξεταστεί με έξυπνο τρόπο ελέγχοντας

και προγραμματίζοντάς την μέσω ενός συστήματος διανομής που βασίζεται στην επικοινωνία.

Η τρέχουσα ενεργειακή κατάσταση οδηγεί σε κοινωνικά, περιβαλλοντικά, πολιτικά και οικονομικά προβλήματα που έχουν τεράστιες και κρίσιμες επιπτώσεις στην καθημερινή ζωή. Η επιστημονική κοινότητα καταβάλλει μεγάλες προσπάθειες για τον περιορισμό και τον εξορθολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας προκειμένου να μετριαστεί η εξάρτηση από το πετρέλαιο και τα περιβαλλοντικά θέματα. Κατά την τελευταία δεκαετία, η επιθυμία μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που προέρχονται από τον τομέα των μεταφορών οδήγησε στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών κινητήρων, ορισμένες από τις οποίες επικεντρώνονται στην ηλεκτροκίνηση των οχημάτων. Τα plug-in οχήματα έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της αυξημένης ενεργειακής τους απόδοσης, των δυνατοτήτων επαναφόρτισης και της μειωμένης χρήσης πετρελαίου. Ο όρος plug-in περιλαμβάνει όλα τα μηχανοκίνητα οχήματα που μπορούν να φορτιστούν από οποιαδήποτε εξωτερική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως πρίζες τοίχου και η ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες συμβάλλει ολικώς ή μερικώς στην κίνηση του οχήματος. Η κατηγορία των οχημάτων plug-in (Plug-in Electric Vehicles) περιλαμβάνει όλα τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (Battery Electric Vehicles), οχήματα κυψελών καυσίμου (Fuel Cell Vehicles) και υβριδικά οχήματα (Plug-in Hybrid Electric Vehicles).

1.3. Από τα υβριδικά στα ηλεκτρικά οχήματα

Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV) επωφελούνται από έναν αποτελεσματικό συνδυασμό τουλάχιστον δύο πηγών ισχύος για την κίνηση του οχήματος. Ένας ή περισσότεροι ηλεκτρικοί κινητήρες σε συνδυασμό με έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης ή μια κυψέλη καυσίμου ως κύρια πηγή ενέργειας, τροφοδοτούν το σύστημα κίνησης. Μια μπαταρία λειτουργώντας ως αμφίδρομη πηγή ενέργειας παρέχει ισχύ στο σύστημα μετάδοσης κίνησης, ανακτώντας επίσης μέρος της ενέργειας πέδησης που εκλύεται σε συμβατικά οχήματα εσωτερικής καύσης. Σε γενικές γραμμές, ο όρος του υβριδικού αυτοκινήτου χρησιμοποιείται για ένα όχημα που συνδυάζει συμβατικό

κινητήρα εσωτερικής καύσης με ηλεκτρικό κινητήρα. Τα κύρια πλεονεκτήματα του συστήματος μετάδοσης των υβριδικών οχημάτων μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

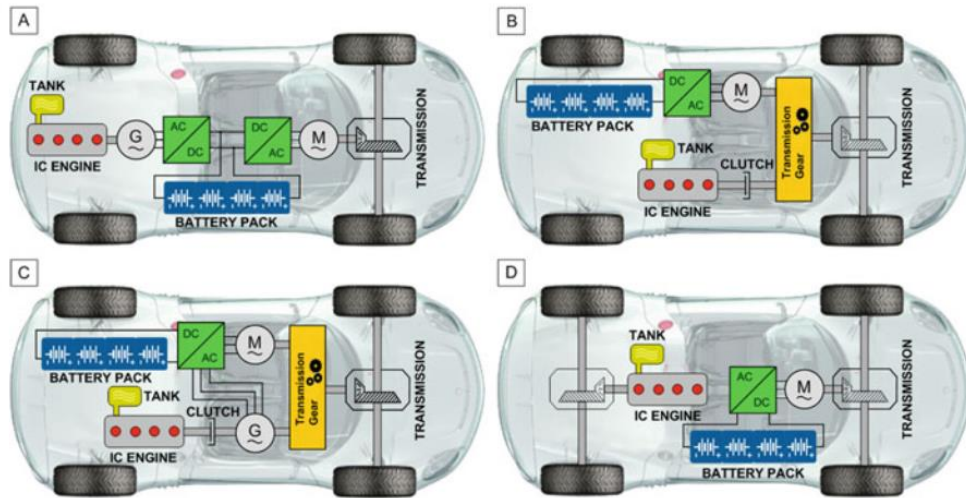
- Μείωση μεγέθους κινητήρα εσωτερικής καύσης: Δεδομένου ότι η μέγιστη ζήτηση ισχύος μπορεί να παρέχεται με συνδυασμό του συμβατικού κινητήρα και της μπαταρίας, ο συμβατικός κινητήρας θα μπορούσε να είναι διαστασιολογημένος για τη μέση ζήτηση ισχύος του οχήματος. Αυτό μειώνει το βάρος και βελτιώνει την απόδοση του κινητήρα όταν λειτουργεί με το ίδιο φορτίο ενός μεγαλύτερου κινητήρα.
- Αναγεννητική πέδηση: Η ενσωματωμένη μπαταρία ενός υβριδικού οχήματος μπορεί να επαναφορτιστεί όταν ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί σε κατάσταση γεννήτριας κατά τη διάρκεια της πέδησης.
- Λειτουργία ON/OFF κινητήρα: Ο κινητήρας μπορεί να απενεργοποιηθεί όταν το όχημα βρίσκεται σε ακινησία ή η ζήτηση ισχύος του οχήματος είναι χαμηλή. Αυτό αποτρέπει την κατανάλωση ενέργειας στο ρεζαντί του κινητήρα ή τη λειτουργία του σε χαμηλή ισχύ, κάτι που είναι ενεργειακά μη αποδοτικό.
- Ευελιξία ελέγχου: Ο επιπρόσθετος βαθμός ελευθερίας για την παροχή της ισχύος του οχήματος από οποιονδήποτε κινητήρα, ηλεκτρικό ή εσωτερικής καύσης, παρέχει την ευελιξία για τη λειτουργία των εξαρτημάτων κινητήρα με ενεργειακά πιο αποδοτικό τρόπο.

Τα plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEVs) επωφελούνται από τα χαρακτηριστικά τόσο των συμβατικών υβριδικών οχημάτων όσο και των ηλεκτρικών οχημάτων έχοντας μια μεγάλη μπαταρία η οποία μπορεί να επαναφορτιστεί όταν συνδέεται σε μια εξωτερική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα PHEVs είναι μια βιώσιμη λύση για την αντικατάσταση μέρους της ενέργειας ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιείται στις μεταφορές με ηλεκτρική ενέργεια, έως ότου ωριμάσει ο πλήρης εξηλεκτρισμός των οχημάτων. Επιπλέον, τα PHEVs μπορούν να εξαλείψουν τις ανησυχίες σχετικά με τον χρόνο επαναφόρτισης και τη χιλιομετρική αυτονομία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Τα Plug-in υβριδικά αυτοκίνητα μπορούν να ξεπεράσουν την περιορισμένη χιλιομετρική αυτονομία των περισσότερων ηλεκτρικών οχημάτων και έχουν τη δυνατότητα να περιορίσουν τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων σχεδόν στο μηδέν. Ένα υβριδικό όχημα μπορεί να επιτύχει τη χιλιομετρική αυτονομία και τα πλεονεκτήματα απόδοσης των συμβατικών οχημάτων με χαμηλό θόρυβο, χαμηλές εκπομπές καυσαερίων και τα οφέλη ενεργειακής ανεξαρτησίας των ηλεκτρικών οχημάτων. Επίσης, τα υβριδικά οχήματα έχουν σημαντική επίδραση στην ενίσχυση της μετάβασης από τα ορυκτά καύσιμα στην ηλεκτρική ενέργεια για ένα σημαντικό μέρος των καθημερινών μετακινήσεων. Σύμφωνα με έρευνα που διενήργησε η Toyota, οι συνολικές ημερήσιες μετακινήσεις στο 75%, 80% και 95% των οχημάτων στη Βόρεια Αμερική, την Ευρώπη και την Ιαπωνία, αντίστοιχα, είναι κοντινότερες από 60 χλμ ^[2].

Τα ηλεκτρικά οχήματα μεγάλης εμβέλειας (EREVs) είναι plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια. Στα υβριδικά οχήματα, τόσο η μπαταρία όσο και ο βενζινοκινητήρας είναι σε θέση να παρέχουν τη μέγιστη ισχύ που καλύπτει το φορτίο του συστήματος μετάδοσης κίνησης. Η αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων μεγάλης εμβέλειας εστιάζεται κυρίως σε άτομα που προτιμούν τα οφέλη της οδήγησης αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια για καθημερινά ταξίδια ρουτίνας, ενώ ταυτόχρονα απολαμβάνουν την οδήγηση χωρίς το άγχος της αυτονομίας για μεγαλύτερα ταξίδια που εξακολουθεί να είναι ένα από τα μειονεκτήματα των περισσότερων ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Η βοηθητική μονάδα ισχύος ενός υβριδικού οχήματος παρέχει την απαιτούμενη βασική ισχύ στο όχημα, επαναφορτίζει τις μπαταρίες και τροφοδοτεί βοηθητικά φορτία όπως το κλιματιστικό και τη θέρμανση. Συνήθως, η βοηθητική μονάδα ισχύος αποτελείται από έναν συμβατικό κινητήρα εσωτερικής καύσης, ο οποίος μπορεί να είναι εναλλακτικής μορφής ή και κυψέλη καυσίμου.



Εικόνα 1.2. – Αρχιτεκτονικές υβριδικών οχημάτων: A – Σειριακή, B – Παράλληλη, C – Κατανομής ισχύος, D – Σειριακή – Παράλληλη

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.2, τα υβριδικά αυτοκίνητα χωρίζονται σε 4 βασικές τοπολογίες, ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης του ηλεκτροκινητήρα με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης: Σειριακή, παράλληλη, κατανομής ισχύος και σειριακή – παράλληλη [3].

Στη σειριακή τοπολογία ο κινητήρας είναι συνδεδεμένος σε σειρά με τη γεννήτρια, η οποία χρησιμοποιείται για την επαναφόρτιση της μπαταρίας. Το σειριακό σύστημα μετάδοσης κίνησης διαθέτει έναν ηλεκτροκινητήρα επαρκούς ισχύος για να καλύψει το μέγιστο φορτίο πρόωσης του οχήματος. Η αύξηση της χωρητικότητας της μπαταρίας επιτρέπει στη σειριακή αρχιτεκτονική την κίνηση αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια και μηδενικούς ρύπους. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει μηχανική σύνδεση μεταξύ των τροχών και του κινητήρα στη σειριακή αρχιτεκτονική, ο κινητήρας μπορεί να λειτουργεί ανεξάρτητα κοντά στο ωφέλιμο φάσμα ροπής του. Ωστόσο, το γνωστό μειονέκτημα του σειριακού συστήματος μετάδοσης κίνησης είναι η μετατροπή της μηχανικής ισχύος του κινητήρα σε ηλεκτρική και στη συνέχεια πάλι σε μηχανική μέσω του ηλεκτρικού κινητήρα. Η συγκεκριμένη αλληλουχία μετατροπής ενέργειας μειώνει τη συνολική απόδοση του σειριακού συστήματος μετάδοσης κίνησης. Ένα διαδεδομένο μοντέλο με σειριακή αρχιτεκτονική είναι το Volt της General Motors. Το Volt διαθέτει μηχανισμό αλλαγής από σειριακή σε σειριακή-παράλληλη

αρχιτεκτονική, αντιμετωπίζοντας έτσι το μειονέκτημα της μειωμένης απόδοσης. Στη σειριακή-παράλληλη λειτουργία, ο κινητήρας μπορεί να μεταφέρει μηχανικά την ισχύ απευθείας στην τελική κίνηση όταν απαιτείται μεγαλύτερη ισχύς και σε εύρος υψηλότερων στροφών του κινητήρα. Επίσης, έχει δύο διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας EV στις οποίες η λειτουργία EV μετατοπίζεται από έναν σε δύο ηλεκτροκινητήρες για να μειώσει τις απώλειες που σχετίζονται με τη λειτουργία υψηλής ταχύτητας των ηλεκτρικών κινητήρων, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας κρουαζιέρας ^[4].

Στο παράλληλο σύστημα μετάδοσης κίνησης, τόσο ο βενζινοκινητήρας όσο και ο ηλεκτροκινητήρας μπορούν μεταδώσουν απευθείας μηχανική ενέργεια στους τροχούς κίνησης του οχήματος. Δημοφιλή μοντέλα με παράλληλη αρχιτεκτονική είναι τα Honda Insight, Civic και Accord, στα οποία ένας μικρός ηλεκτρικός κινητήρας βρίσκεται μεταξύ του βενζινοκινητήρα και του κιβωτίου ταχυτήτων, αντικαθιστώντας το βολάν. Είναι επίσης δυνατό για έναν παράλληλο υβριδικό όχημα ο βενζινοκινητήρας να οδηγεί τον έναν άξονα, με τον ηλεκτροκινητήρα να δίνει κίνηση στον άλλο άξονα. Το Daimler Chrysler Sprinter έχει κατασκευαστεί με τη συγκεκριμένη τοπολογία. Αφενός, μια άμεση μηχανική σύνδεση μεταξύ των τροχών και του βενζινοκινητήρα εξαλείφει τις απώλειες μετατροπής ενέργειας που χαρακτηρίζουν τη σειριακή αρχιτεκτονική. Από την άλλη πλευρά, μειώνει τον βαθμό ελευθερίας του ελέγχου ταχύτητας κινητήρα στην επιλογή του λόγου μετάδοσης.

Η σειριακή-παράλληλη ή διαχωρισμού ισχύος είναι η πιο δημοφιλής αρχιτεκτονική στα υβριδικά οχήματα. Το Toyota Prius, το πρώτο υβριδικό όχημα σε πωλήσεις παγκοσμίως, τα μοντέλα Toyota Camry και Highlander, το Lexus RX 400h, τα Ford Escape και Mariner είναι κατασκευασμένα με τη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική. Ο σειριακός-παράλληλος υβριδικός κινητήρας συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των δύο αρχιτεκτονικών. Σε αυτό το σύστημα μετάδοσης κίνησης, η μηχανική ενέργεια περνά μέσω του διαχωρισμού ισχύος σε σειριακές και παράλληλες διαδρομές. Στη σειριακή διαδρομή, η ισχύς του κινητήρα μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας γεννήτριας. Στην παράλληλη διαδρομή, αντίθετα, δεν υπάρχει μετατροπή ενέργειας και η μηχανική ενέργεια του κινητήρα μεταφέρεται απευθείας στην τελική κίνηση. Γενικά,

παρόμοια με την παράλληλη μετάδοση κίνησης, η σειριακή-παράλληλη αρχιτεκτονική δεν διαθέτει ηλεκτρικό κινητήρα σχεδιασμένο για τη μέγιστη απαιτούμενη ισχύ κίνησης του οχήματος. Η κίνηση αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια είναι εφικτή για το σειριακό-παράλληλο σύστημα μετάδοσης κίνησης. Ωστόσο, υπάρχει ένας μηχανικός περιορισμός στο σύστημα ταχυτήτων του οχήματος.

Μία παραλλαγή της τοπολογίας διαχωρισμού ισχύος είναι το υβριδικό σύστημα Allison, γνωστό και ως AHSII ^[5]. Το σύστημα Allison είναι ένα σύστημα διπλής λειτουργίας με δύο συστήματα ταχυτήτων, σχεδιασμένο από την General Motors και χρησιμοποιούνται επί του παρόντος σε πολλά μοντέλα SUV και φορτηγά.

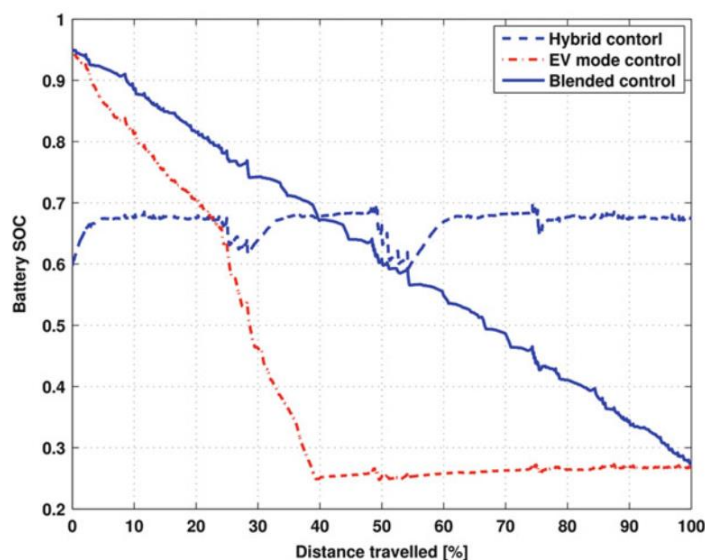
1.3.1. Διαχείριση Ενέργειας στα Υβριδικά Οχήματα

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αλγόριθμοι διαχείρισης ενέργειας αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της ηλεκτροκίνησης και είναι πολύ σημαντικοί για την επίτευξη βελτιστοποιημένων ενεργειακών επιδόσεων. Στην πραγματικότητα, η βελτίωση της ενεργειακής διαχείρισης στα ηλεκτροκίνητα οχήματα μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά οφέλη, όπως η επίτευξη ελάχιστης κατανάλωσης ποσότητας καυσίμου και έκλυσης μειωμένων ατμοσφαιρικών ρύπων, ενισχύοντας μία βιώσιμη και πιο φιλική προς το περιβάλλον μετακίνηση των ατόμων. Οι αλγόριθμοι διαχείρισης ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για την απόδοση των υβριδικών οχημάτων.

Οι στρατηγικές διαχείρισης ενέργειας σε ένα plug-in υβριδικό όχημα είναι παρόμοιες με εκείνες που χρησιμοποιούνται στα υβριδικά οχήματα, με τον επιπλέον βαθμό ελευθερίας να αντιστοιχεί στη δυνατότητα εξάντλησης της μπαταρίας για την απόκτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε σημαντικές ποσότητες, σε συνδυασμό με τη δυνατότητα επαναφόρτισης της συστοιχίας των συσσωρευτών ^[6]. Λαμβάνοντας υπόψη την πολυπλοκότητα της αρχιτεκτονικής των plug-in υβριδικών οχημάτων, ο αλγόριθμος διαχείρισης ενέργειας καλείται να βελτιστοποιήσει πολλαπλά αντικείμενα, όπως της οικονομίας καυσίμου, των συνολικών εκπομπών, της διάρκειας ζωής της μπαταρίας και της ευκολίας εφαρμογής, μαζί με τους περιορισμούς που σχετίζονται με ζητήματα φόρτισης και διαθεσιμότητας, γήρανσης της μπαταρίας και αναμενόμενης απόδοσης.

Οι αλγόριθμοι διαχείρισης ενέργειας μπορούν να χωριστούν ευρέως σε αναλυτικούς (π.χ. δυναμικός προγραμματισμός, αρχή Pontryagin, στρατηγική ελαχιστοποίησης ισοδύναμης κατανάλωσης (ECMS)) και εμπειρικούς (βασισμένοι σε κανόνες, ασαφής λογική, τεχνητά νευρωνικά δίκτυα) [7].

Οι στρατηγικές ελέγχου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο ομάδες: Έλεγχος λειτουργίας ηλεκτρικού κινητήρα και έλεγχος συνδυασμένης λειτουργίας. Ο έλεγχος λειτουργίας ηλεκτρικού κινητήρα είναι μια απλή μέθοδος με δύο στάδια, την εξάντληση φόρτισης και τη διατήρηση φόρτισης. Ο αλγόριθμος ελέγχου θέτει σε λειτουργία μόνο τον ηλεκτροκινητήρα, εφόσον η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας (State of Charge) είναι μεγαλύτερη από μια τιμή κατωφλίου. Μόλις η στάθμη φόρτισης μειωθεί κάτω από αυτήν την τιμή, ο αλγόριθμος ελέγχου μεταβαίνει στη διατήρηση φόρτισης. Στον έλεγχο συνδυασμένης λειτουργίας, ο στόχος είναι να επιτευχθεί το κατώτερο όριο της στάθμης φόρτισης της μπαταρίας μόνο στο τέλος του ταξιδιού. Η στάθμη φόρτισης της μπαταρίας μειώνεται αργά καθ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού και το προφίλ λειτουργίας που ακολουθείται μπορεί να επιλεγεί κατά βέλτιστο τρόπο βάσει αρχών από τη θεωρία βελτιστοποίησης, όπως τον δυναμικό προγραμματισμό. Αυτή η μέθοδος μπορεί να προσφέρει καλύτερη οικονομία καυσίμου, αλλά με υψηλότερο κόστος σε απαιτήσεις πληροφοριών.



Εικόνα 1.3. – Σύγκριση στάθμης φόρτισης μπαταρίας (State of Charge) σε έλεγχο λειτουργίας ηλεκτρικού κινητήρα και έλεγχο συνδυασμένης λειτουργίας [8]

Ο έλεγχος συνδυασμένης λειτουργίας απαιτεί εξελιγμένους αλγόριθμους προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη οικονομία καυσίμου με μειωμένες απαιτήσεις πληροφοριών. Η στρατηγική ελαχιστοποίησης ισοδύναμης κατανάλωσης (ECMS) είναι ένας τέτοιος αλγόριθμος που χρησιμοποιείται ευρέως για υβριδικά οχήματα και μπορεί να εφαρμοστεί σε plug-in υβριδικά οχήματα.

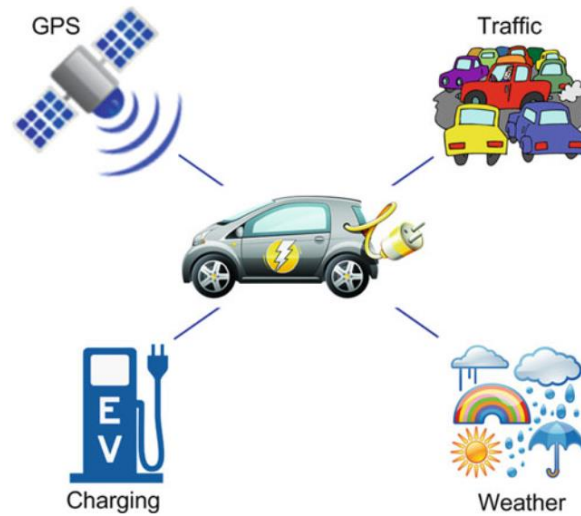
Βασίζεται στο γεγονός ότι σε ένα υβριδικό όχημα, γενικά, η κατανάλωση ενέργειας από την μπαταρία αναπληρώνεται με τη λειτουργία του κινητήρα ^[9]. Επομένως, η εκφόρτιση της μπαταρίας ανά πάσα στιγμή ισοδυναμεί με μελλοντική κατανάλωση καυσίμου. Για plug-in υβριδικά οχήματα, το ECMS πρέπει επίσης να λάβει υπόψη την ενέργεια που προέρχεται από το δίκτυο: αυτή η αποτελεσματική κατανάλωση καυσίμου χρησιμοποιείται ως αντικειμενική συνάρτηση για τη βελτιστοποίηση ελέγχου, ενώ η είσοδος στον αλγόριθμο ECMS είναι η συνολική ζήτηση ενέργειας. Το ECMS αναζητά τον καλύτερο συνδυασμό μεταξύ ηλεκτρικού κινητήρα και βενζινοκινητήρα όπου ελαχιστοποιείται η πραγματική κατανάλωση καυσίμου. Ο αλγόριθμος ECMS εφαρμόζεται στα plug-in υβριδικά οχήματα σε λειτουργία παρακολούθησης, όπου ο αλγόριθμος παρακολουθεί μια βέλτιστη κατάσταση αναφοράς του προφίλ φόρτισης. Η μελέτη δυναμικών αλγορίθμων προγραμματισμού για plug-in υβριδικά οχήματα αποκαλύπτει ότι μία γραμμικά μειούμενη στάθμη φόρτισης μπαταρίας (SOC) σε σχέση με την απόσταση ταξιδιού δίνει βέλτιστη απόδοση ^[10].

Ο αλγόριθμος δυναμικού προγραμματισμού είναι μια μεθοδολογία αριθμητικής βελτιστοποίησης που μπορεί να υπολογίσει τη βέλτιστη λύση, αλλά είναι πρακτικά αδύνατο να εφαρμοστεί σε ένα όχημα, καθώς απαιτεί πλήρεις πληροφορίες για τη μελλοντική διαδρομή. Ο δυναμικός προγραμματισμός απαιτεί επίσης μεγάλη ποσότητα μνήμης και υπολογιστική ισχύ για την εκτέλεση της βελτιστοποίησης. Άλλοι αλγόριθμοι, όπως αλγόριθμοι βασισμένοι σε κανόνες ή διαδικτυακές μέθοδοι βελτιστοποίησης όπως ο ECMS και ο στοχαστικός δυναμικός προγραμματισμός ^[11], μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα όχημα. Οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι απαιτούν ορισμένες πληροφορίες για την εκτέλεση βελτιστοποίησης εκτός σύνδεσης ή ρύθμιση

των παραμέτρων, αλλά οι απαιτήσεις πληροφοριών είναι συνήθως χαμηλότερες από αυτές που απαιτούνται από τον δυναμικό προγραμματισμό.

Η απόδοση του αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας σχετίζεται στενά με τη ζήτηση ισχύος καθ' όλη τη διάρκεια της διαδρομής οδήγησης. Η ζήτηση ισχύος εξαρτάται από τον τύπο του δρόμου, τις καιρικές συνθήκες και το προφίλ ταχύτητας που εφαρμόζει ο οδηγός, το οποίο με τη σειρά του εξαρτάται από την κίνηση και τη γεωγραφία. Η απόδοση της διαχείρισης ενέργειας μπορεί να βελτιωθεί και να βελτιστοποιηθεί ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες οδήγησης και τα καιρικά φαινόμενα ^[12]. Επομένως, πληροφορίες σχετικά με τη διαδρομή οδήγησης, την πρόγνωση του καιρού και τις συνθήκες κυκλοφορίας είναι πολύ σημαντικές για τη διασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης της στρατηγικής διαχείρισης ενέργειας. Οι στατικές και δυναμικές πληροφορίες, συμπεριλαμβανομένων των κλίσεων του δρόμου και των επιφανειών του οδοστρώματος, τα όρια ταχύτητας, των θέσεων και των χρόνων των φαναριών κυκλοφορίας, καθώς και η κίνηση στους δρόμους σε πραγματικό χρόνο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μακροπρόθεσμη πρόβλεψη του συνολικού ταξιδιού μέχρι τον τελικό προορισμό.

Η πρόσβαση σε τέτοιες πληροφορίες μπορεί να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση και την κινητικότητα του οχήματος μέσω του σχεδιασμού διαδρομής. Οι στατικές πληροφορίες του δρόμου, η ροή της κίνησης σε πραγματικό χρόνο, οι θέσεις των σταθμών ηλεκτρικής φόρτισης, οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και άλλες πληροφορίες είναι χρήσιμες για τον καθορισμό μιας βέλτιστης διαδρομής και διαχείρισης ενέργειας.



Εικόνα 1.4. – Ευφύης διαχείριση ενέργειας υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων σε συνάρτηση με τις υποδομές φόρτισης, τη γεωγραφία, τη ροή κίνησης και τις καιρικές συνθήκες οδήγησης

Σαφώς, υπάρχει ένα trade-off μεταξύ των απαιτήσεων πληροφοριών και της απόδοσης αλγορίθμου. Απαιτείται λεπτομερής εκ των προτέρων γνώση του ταξιδιού για μία βέλτιστη λύση, ωστόσο αυτό δεν είναι ένα ρεαλιστικό σενάριο και χρειάζεται μία ισορροπία μεταξύ της βέλτιστης λύσης και του επιπέδου των διαθέσιμων πληροφοριών.

Τέλος, για τα plug-in οχήματα, η στρατηγική ελέγχου θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη θέση του σταθμού φόρτισης, ειδικά όταν η επιλεγμένη μεταβλητή κατάστασης είναι η στάθμη φόρτισης (SOC) της μπαταρίας. Στην πραγματικότητα, ανάλογα με τη διαθέσιμη ενέργεια στους συσσωρευτές, η διαχείριση της ενέργειας του οχήματος μπορεί να ελεγχθεί με διάφορους τρόπους και η ενσωμάτωση αυτής της παραμέτρου μπορεί να αποφέρει ένα σχετικό όφελος στην επίτευξη της βέλτιστης λύσης. Παρ' όλα αυτά, η ενσωμάτωση της στρατηγικής ελέγχου στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας εισάγει περιορισμούς σχετικούς με το δίκτυο, όπως η ευστάθεια του δικτύου και η επάρκεια ισχύος σε αιχμές ζήτησης, παράμετροι οι οποίες πολύ συχνά παραμελούνται.

1.4. Ηλεκτρικά Οχήματα

Ένα ηλεκτρικό όχημα είναι ένα όχημα στο οποίο το σύστημα κίνησης μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε μια μπαταρία σε μηχανική ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη μετακίνηση του οχήματος. Ένα αμιγώς ηλεκτρικό όχημα δεν διαθέτει βενζινοκινητήρα και επομένως απαιτεί μια μεγάλη (και ακριβή) μπαταρία για να εγγυηθεί μια σχετικά περιορισμένη αυτονομία σε σύγκριση με τις αυτονομίες των συμβατικών οχημάτων εσωτερικής καύσης. Το υψηλότερο κόστος, η περιορισμένη αυτονομία και ο μεγάλος χρόνος επαναφόρτισης αντιπροσωπεύουν τα κύρια μειονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων σήμερα. Ως προς αυτό, στον Πίνακα 1.1, αναφέρονται τα συνολικά χλμ ανά φόρτιση και η μείωση της χρήσης πετρελαίου των ηλεκτρικών οχημάτων σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες οχημάτων.

Type of vehicle	km/ L	Total km per tank + charge	Reduction in petroleum use
TDI diesel	19	855	–
Hybrid electric	21	945	10 %
Plug-in hybrid electric (10)	36	1180	28 %
Plug-in hybrid electric (40)	67	1255	32 %
Plug-in electric (EVs)	–	150	100 %

Πίνακας 1.1. – Κατανάλωση, αυτονομία και μείωση στη χρήση πετρελαίου σε διαφορετικές τεχνολογίες αυτοκινήτων – Πηγή: US Energy Information Administration ^[13].

Στην πραγματικότητα, ένας βασικός παράγοντας στην ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων θα είναι ο καταναλωτής. Οι άνθρωποι αγοράζουν αυτοκίνητα για μια ποικιλία λόγων. Οι αγοραστικές αποφάσεις είναι περίπλοκες και κανείς - συμπεριλαμβανομένων των αυτοκινητοβιομηχανιών - δεν καταλαβαίνει πλήρως τους μηχανισμούς λειτουργίας τους. Περιλαμβάνει έναν αριθμό ψυχολογικών παραγόντων που έχουν να κάνουν με την προσωπικότητα του ατόμου και τις προηγούμενες εμπειρίες του - καθώς και ορισμένους βασικούς παράγοντες όπως το διαθέσιμο εισόδημα και τις πρακτικές ανάγκες που καλύπτει ένα όχημα. Προφανώς, οι άνθρωποι δεν αγοράζουν οχήματα με βάση μόνο το κόστος ζωής τους ή τις μέσες ανάγκες οδήγησης και άνεσης. Οι άνθρωποι μπορεί να αγοράζουν οχήματα για ιδιαίτερα ταξίδια

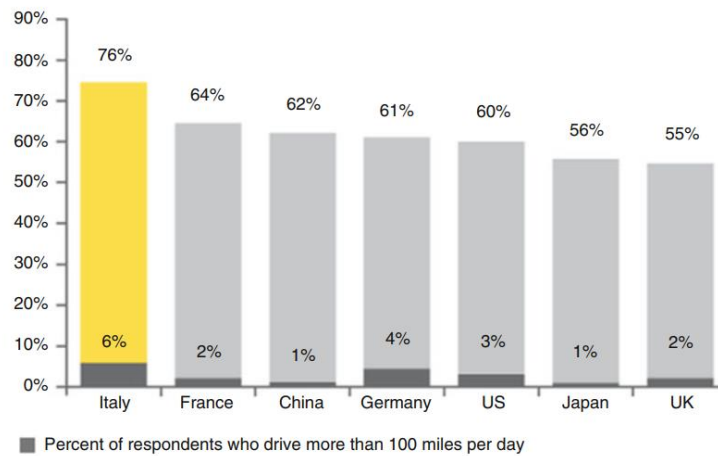
που επιθυμούν να πραγματοποιήσουν και να καταλήξουν να επιλέξουν ένα μίνι βαν για το οικογενειακό ταξίδι στην εξοχή ή ένα τετρακίνητο όχημα για λίγες ετήσιες εξορμήσεις στο χιόνι.

		Access to charging stations	Price	Battery driving range	Reliability/ service ability	Performance and handling	Lack of clear understanding of cost advantage	Battery disposal	Safety	Technological obsolescence	Seating capacity
China		69%	57%	73%	64%	57%	49%	54%	64%	28%	24%
Japan		60%	73%	43%	36%	35%	44%	26%	32%	10%	9%
US		75%	74%	75%	57%	49%	49%	50%	41%	30%	33%
Europe	France	74%	63%	81%	26%	46%	23%	26%	19%	14%	16%
	Germany	74%	66%	75%	46%	52%	48%	36%	26%	27%	20%
	Italy	64%	62%	62%	42%	54%	44%	33%	28%	22%	19%
	UK	71%	60%	71%	47%	50%	44%	36%	31%	23%	27%
Average		69%	67%	66%	49%	48%	45%	41%	41%	22%	21%

■ Highest response rate for each factor ■ Lowest response rate for each factor

Πίνακας 1.2. – Παράγοντες που αποτρέπουν τους καταναλωτές από την αγορά ενός υβριδικού ή ηλεκτρικού οχήματος έναντι ενός συμβατικού οχήματος εσωτερικής καύσης – Πηγή: Μελέτη Ernst & Young ^[14].

Ένας σημαντικός κοινός παράγοντας που επιβραδύνει σημαντικά τη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στην παγκόσμια αγορά είναι η αυτονομία οδήγησης. Το ακόλουθο γράφημα παρέχει μερικές ενδιαφέρουσες πληροφορίες για την αναλογία μεταξύ των πραγματικών αναγκών των οδηγών και του τί περιμένουν από το όχημά τους και πιο συγκεκριμένα, το ποσοστό των οδηγών που θεωρούν ότι τα 100 μίλια αυτονομίας δεν επαρκούν για τις καθημερινές τους ανάγκες.



Εικόνα 1.5. – Ποσοστά οδηγών ανά χώρα που θεωρούν ότι μία αυτονομία οδήγησης 100 μιλίων ημερησίως δεν ικανοποιεί τις ανάγκες τους - Πηγή: Μελέτη Ernst & Young ^[14].

Από τα παραπάνω δεδομένα συμπεραίνουμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των καταναλωτών δεν έχει επίγνωση των πραγματικών του αναγκών. Μερικές φορές η τεχνολογία κινείται γρηγορότερα από τον ρυθμό με τον οποίο οι άνθρωποι προσαρμόζουν τις συνήθειές τους. Οι άνθρωποι έχουν συνηθίσει να ανεφοδιάζουν το όχημά τους τρεις με τέσσερις φορές το μήνα, οδηγώντας στο βενζινάδικο και ολοκληρώνοντας τον ανεφοδιασμό του οχήματος μέσα σε λίγα λεπτά. Ωστόσο, δεν είναι κάτι που επαναλαμβάνουν σε καθημερινή βάση. Τα ηλεκτρικά οχήματα από την άλλη πλευρά απαιτούν συχνότερο «ανεφοδιασμό» και ανάλογα με τις οδηγικές συνήθειες, η φόρτιση μπορεί να αποτελεί καθημερινή ρουτίνα προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η αυτονομία του οχήματος. Το πλεονέκτημα είναι ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτό θα συμβεί στο σπίτι και κατά τη διάρκεια της νύχτας, καθιστώντας έτσι τη διαδικασία φόρτισης του οχήματος μέρος της ρουτίνας των ανθρώπων και όχι πλέον μια δραστηριότητα που αποκλίνει από το καθημερινό τους πρόγραμμα. Ένα άλλο παράδειγμα αλλαγής φιλοσοφίας των καταναλωτών είναι τα smartphones: μέχρι πριν από μερικά χρόνια, ένα τηλέφωνο λειτουργούσε για μέρες χωρίς να απαιτείται φόρτιση. Στις μέρες μας, οι άνθρωποι βρίσκονται πάντα σε αναζήτηση τρόπου φόρτισης του smartphone τους - ακόμη και όταν δεν χρειάζεται, «για κάθε περίπτωση» - στην καφετέρια, στο αεροδρόμιο, στο γραφείο κ.λπ. Αυτό ονομάζεται "ευκαιριακή φόρτιση" και είναι πιθανότατα η ίδια κατεύθυνση προς την οποία κινείται η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Τέλος, η εκπαίδευση των καταναλωτών είναι απαραίτητη προκειμένου να διδαχθούν όχι μόνο να φορτίζουν πλήρως κάθε βράδυ τα ηλεκτρικά τους οχήματα αλλά και να πραγματοποιούν ευκαιριακές φορτίσεις σε κάθε ευκαιρία για να μεγιστοποιήσουν την αυτονομία του οχήματος.

1.5. Επιλογές Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων και Υποδομές

Η τρέχουσα τεχνολογία φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων προσφέρει τρεις μεθόδους φόρτισης ^{[15],[16]} : Φόρτιση επιπέδου 1, φόρτιση επιπέδου 2 (μέθοδοι βραδείας φόρτισης) και φόρτιση συνεχούς ρεύματος (μέθοδος ταχείας φόρτισης). Η φόρτιση επιπέδου 1 χρησιμοποιεί συνήθως μια τυπική πρίζα 110 VAC και 15 A, η οποία είναι η χαμηλότερη τάση που μπορεί κανείς να βρει σε ένα οικιστικό ή δημόσιο

κτίριο στις ΗΠΑ. Με τη φόρτιση επιπέδου 1 χρειάζονται περίπου 12-18 ώρες για να φορτιστεί πλήρως ένα όχημα, ανάλογα με το μέγεθος της μπαταρίας και την πραγματική προσλαμβάνουσα ισχύ. Το επίπεδο 2 χρησιμοποιεί πρίζα 220 V_{AC} με ρεύμα 15-30 A και συνεπώς απαιτεί λιγότερο χρόνο φόρτισης. Η γρήγορη φόρτιση DC χρησιμοποιεί συνεχές ρεύμα υψηλής τάσης (200–600 V_{DC}) και δεν απαιτεί περισσότερο από 30 λεπτά για να φορτίσει πλήρως ένα όχημα. Ωστόσο, δεδομένου ότι μια τέτοια μέθοδος ταχείας φόρτισης απαιτεί ειδικό εξοπλισμό φόρτισης και η απαίτηση ισχύος υπερβαίνει τις δυνατότητες των περισσότερων οικιακών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, η ταχεία φόρτιση DC δεν αναμένεται να εφαρμοστεί σύντομα για οικιακή χρήση.

Charging method	Voltage	Usage	Power (kW)	Charging time
Level one	110 V _{AC}	Home/public	1.4	12–18 h
Level two	220 V _{AC}	Home/public	3.3–6.6	4–8 h
DC levels 1–3 (fast-charging)	200–600 V _{DC}	Public	20–50	15–30 min

Πίνακας 1.3. – Μέθοδοι φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Μια από τις μεγαλύτερες ανησυχίες που προκύπτουν από τον εξηλεκτρισμό των αυτοκινήτων σχετίζεται με τους σταθμούς ηλεκτρικής φόρτισης. Πού και πόσοι σταθμοί φόρτισης πρέπει να κατασκευαστούν για να ικανοποιήσουν τις βασικές ανάγκες φόρτισης; Τί είδους τεχνολογία φόρτισης πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση; Αυτά τα ερωτήματα είναι σημαντικά υπό την έννοια ότι, όπως καταλήγουν πολλές μελέτες, η διαθεσιμότητα μιας αποτελεσματικής και προσιτής υποδομής ηλεκτρικών φορτιστών θα επηρεάσει άμεσα την απόφαση αγοράς των καταναλωτών και κατ'επέκταση τη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στην παγκόσμια αγορά. Από την άλλη πλευρά, οι εταιρείες κοινής ωφέλειας εξέφραζαν πάντοτε ανησυχίες σχετικά με τις επιπτώσεις των φορτιστών στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα αναλυτικό σχέδιο με τις τοποθεσίες εγκατάστασης υποδομών φόρτισης μπορεί να βοηθήσει τις εταιρείες κοινής ωφέλειας ώστε να προετοιμάσουν τις κατάλληλες υποδομές που θα ανταποκριθούν στα αυξημένα φορτία. Το ζήτημα της τοποθεσίας των σταθμών φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, σε γενικές γραμμές, είναι ένα πρόβλημα υποδομής ανεφοδιασμού, το οποίο έχει μελετηθεί σε πολλά επιστημονικά συγγράμματα πολύ νωρίτερα από την εμφάνιση των ηλεκτρικών οχημάτων την

παγκόσμια αγορά. Παρά τον μεγάλο διαθέσιμο όγκο πληροφοριών από προηγούμενες έρευνες, το πρόβλημα της βέλτιστης τοποθεσίας των σταθμών φόρτισης εξακολουθεί να εμφανίζει ασάφειες και περιθώρια προς βελτίωση.

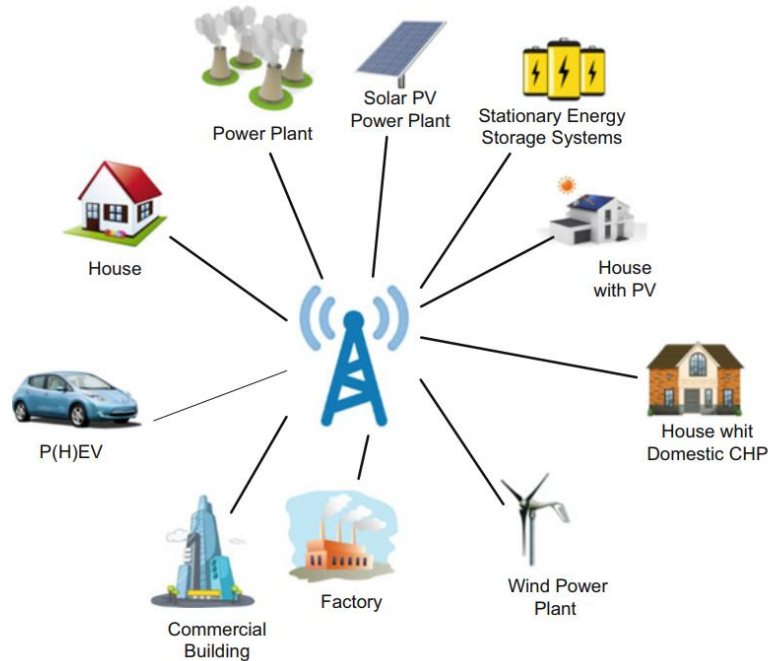
Πρώτον, τα περισσότερα από τα πρώιμα μοντέλα φόρτισης έχουν σχεδιαστεί για συστήματα ταχείας φόρτισης, όπου θεωρείται ότι ο χρόνος φόρτισης που απαιτείται από έναν πελάτη είναι αρκετά σύντομος για να αγνοηθεί και έτσι θα εξυπηρετούνται όλοι οι πελάτες που φτάνουν στους σταθμούς. Με άλλα λόγια, κάθε οδηγός ηλεκτρικού οχήματος που θα διέρχεται από έναν σταθμό φόρτισης θα εξυπηρετείται. Αυτή η υπόθεση ισχύει γενικά για ανεφοδιασμό οχημάτων υδρογόνου και βενζίνης, αλλά δεν δικαιολογείται για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων (τουλάχιστον όχι για τις μεθόδους βραδείας φόρτισης επιπέδου 1 και 2). Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος διαρκεί ένα σημαντικό χρονικό διάστημα, ένας οδηγός που φτάνει ή διέρχεται από έναν σταθμό φόρτισης μπορεί να απορριφθεί εάν δεν υπάρχουν ελεύθεροι φορτιστές στο σταθμό και ο πελάτης δεν είναι πρόθυμος να περιμένει ή ο χρόνος αναμονής που διαθέτει ο οδηγός δεν είναι αρκετός ώστε να ολοκληρωθεί μία πλήρης φόρτιση του οχήματος. Επομένως, χρειάζεται ένα νέο μοντέλο το οποίο θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα ενδεχόμενα μη εξυπηρέτησης ή μερικής φόρτισης ενός διερχόμενου ηλεκτρικού οχήματος από τον σταθμό φόρτισης. Ένα δεύτερο πρόβλημα με τα πρώιμα μοντέλα φόρτισης είναι ότι δεν μπορούν να υπολογίσουν πόσοι φορτιστές χρειάζονται για κάθε σταθμό φόρτισης. Αυτή η ερώτηση είναι σημαντική για τον σχεδιασμό του σταθμού καθώς ο αριθμός των φορτιστών επηρεάζει άμεσα το πόσοι πελάτες μπορούν να εξυπηρετηθούν, δεδομένου ότι κάθε ηλεκτρικό όχημα που φτάνει στον σταθμό καταλαμβάνει έναν φορτιστή για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επίσης, ο αριθμός των φορτιστών καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το κόστος επένδυσης για τους σταθμούς βραδείας φόρτισης (επιπέδου 1 και 2), από την στιγμή που το σταθερό πάγιο κόστος για την κατασκευή τους είναι σχετικά μικρό.

Επιπλέον, πολλές από τις υπάρχουσες μελέτες χρησιμοποιούν δεδομένα από ροές συμβατικών οχημάτων ή δεδομένα πωλήσεων από πρατήρια βενζίνης για να εκτιμήσουν τις αναμενόμενες ροές ηλεκτρικών οχημάτων με τη βασική παραδοχή ότι η συμπεριφορά των ηλεκτρικών οχημάτων θα είναι ανάλογη με εκείνη των

συμβατικών. Η συγκεκριμένη παραδοχή δεν αποδεικνύεται αξιόπιστη, καθώς πολλές πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι η υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων σχετίζεται έντονα με τα οικονομικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά των πελατών. Οι Curtin, Yevgeny και Jamie πραγματοποίησαν μια έρευνα σχετικά με το ενδιαφέρον των οδηγών στα ηλεκτρικά οχήματα, όπου οικονομικά, δημογραφικά και τρέχοντα δεδομένα χρήσης οχημάτων συλλέχθηκαν για ανάλυση ^[17]. Η έρευνα καταδεικνύει ότι τα νοικοκυριά με υψηλότερο εισόδημα και επίπεδο εκπαίδευσης είναι πιο πιθανό να αγοράσουν ηλεκτρικά οχήματα. Εκτός αυτού, το προφίλ χρήσης οχημάτων, όπως ο αριθμός των αυτοκινήτων ανά νοικοκυριό και οι καθημερινές αποστάσεις που διανύει ο κάθε οδηγός, έχουν επίσης σημαντική επίδραση στα αποτελέσματα. Τα νοικοκυριά με περισσότερα οχήματα και χαμηλότερο μέσο όρο ηλικίας οχημάτων δείχνουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά οχήματα. Τέλος, σημαντικός παράγοντας για την απόφαση αγοράς ενός ηλεκτρικού οχήματος είναι οι περιβαλλοντικές ευαισθησίες του καταναλωτή σε ατομικό επίπεδο ^[18].

1.6. Ενέργεια, Οικονομία και Περιβάλλον

Κατά τη σύνδεση ενός οχήματος με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο η κατανάλωση βενζίνης όσο και η ηλεκτρική ενέργεια που αντλείται από το δίκτυο, με το σχετικό κόστος παραγωγής, μεταφοράς, διανομής και εκπομπών. Οι εκπομπές που απαιτούνται για τη φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις πηγές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορες επιλογές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι πιθανό να μειώσει την άμεση εξάρτηση από το πετρέλαιο σε επίπεδο καταναλωτή, αλλά οι πρωτογενείς πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλές περιπτώσεις εκλύουν ρύπους επιβλαβείς προς το περιβάλλον. Η μορφή και το στάδιο στο οποίο παράγονται οι ρύποι αποτελούν θεμελιώδες ενεργειακό δίλημμα για την επιλογή της πιο βιώσιμης μορφής κίνησης των οχημάτων.



Εικόνα 1.6. – Τα ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα ως μέρος ενός έξυπνου δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας

Τα ηλεκτρικά οχήματα επωφελούνται από μια υπάρχουσα υποδομή παροχής ενέργειας η οποία μπορεί να χρησιμοποιήσει άμεσα ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μπορούν να προσφέρουν σημαντικά οφέλη στις υποδομές και στο κοινό, όπως η αύξηση της αξιοπιστίας του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, χαμηλότερο κόστος μεταφοράς για τον καταναλωτή, υψηλότερη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα ενεργειακά δίκτυα, μείωση της εξάρτησης της οικονομίας από την εξόρυξη και εισαγωγή πετρελαίου και μηδενισμός των εκπομπών ρύπων στον τομέα των μεταφορών.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τις επιπτώσεις της εισαγωγής ενός μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Ανάλογα με το πότε και πού είναι συνδεδεμένα τα οχήματα, θα μπορούσαν να προκαλέσουν τοπικούς ή ευρύτερους περιορισμούς στο δίκτυο. Θα μπορούσαν επίσης να απαιτήσουν τόσο την αύξηση της δυναμικότητας της ηλεκτρικής εγκατάστασης σε ισχύ όσο και την αύξηση της χρήσης της υπάρχουσας υποδομής. Θα αλλάξουν οι καμπύλες φορτίου στα τοπικά δίκτυα διανομής και ορισμένες γραμμές ή υποσταθμοί ενδέχεται να υπερφορτωθούν νωρίτερα από το αναμενόμενο. Επιπλέον, ο τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την επαναφόρτιση των οχημάτων θα είναι διαφορετικός,

ανάλογα με την περιοχή και τον χρόνο κατά τον οποίο θα φορτιστούν, και αυτό θα επηρεάσει έντονα τις έμμεσες εκπομπές και το κόστος επαναφόρτισης.

Μια πιθανή συμπεριφορά, η οποία θα μπορούσε να ανταμειφθεί με τις κατάλληλες πολιτικές τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας, θα ήταν τα ηλεκτρικά οχήματα να φορτίζονται από τους ιδιοκτήτες κυρίως τη νύχτα, με μειωμένες επιπτώσεις στο δίκτυο (ελεγχόμενη φόρτιση). Η νυχτερινή φόρτιση είναι κατάλληλη για το δίκτυο λόγω της χαμηλής καμπύλης φορτίου που παρατηρείται από τους οικιακούς και βιομηχανικούς καταναλωτές. Από την άλλη πλευρά, η νυχτερινή φόρτιση απαιτεί έναν σταθμό φόρτισης στο σπίτι του ιδιοκτήτη του οχήματος, την εγκατάσταση του οποίου θα χρειαστεί να καλύψει με δικά του έξοδα. Η προσθήκη των νέων φορτίων φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων επηρεάζουν άμεσα τα υφιστάμενα δίκτυα διανομής, πολλά από τα οποία είναι ήδη κορεσμένα από υπάρχοντα φορτία, χωρίς δυνατότητες απομακρυσμένης εποπτείας και ελέγχου ^[19]. Μία διαφορετική προσέγγιση είναι να επιτραπούν στους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων να φορτίζουν ανά πάσα στιγμή, με αποτέλεσμα η φόρτιση να συμβαίνει κυρίως κατά τη διάρκεια της ημέρας (ανεξέλεγκτη φόρτιση), με κίνδυνο αποσταθεροποίησης του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

Σαφώς, ο χρόνος φόρτισης είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας, αφού καθορίζει ποιες γεννήτριες θα χρησιμοποιηθούν για να ικανοποιήσουν την αυξημένη ζήτηση. Για παράδειγμα, η απογευματινή φόρτιση θα αυξήσει την παραγωγή συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου, ενώ η νυχτερινή φόρτιση θα αυξήσει την παραγωγή ενέργειας από άνθρακα, με σαφείς επιπτώσεις στο κόστος και στις εκπομπές ρύπων ^[20]. Οι Sioshansi R, Fagiani R, Marano V (2010), σε ένα case study που διεξήχθη για την Πολιτεία του Οχάιο (ΗΠΑ), έδειξαν ότι τα υβριδικά οχήματα θα έχουν κάποια μείωση στις εκπομπές του CO₂ σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα, αλλά οι εκπομπές SO₂ και NO_x θα αυξηθούν δραματικά, λόγω των υψηλών εκπομπών των γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανεξέλεγκτη φόρτιση, από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιεί περισσότερη παραγωγή φυσικού αερίου, η οποία μειώνει σημαντικά τις εκπομπές CO₂ σε σύγκριση με την ελεγχόμενη φόρτιση και τα συμβατικά οχήματα. Ως εκ τούτου, ο χρόνος φόρτισης μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στις εκπομπές

ρύπων και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται ως καύσιμο μεταφοράς.

Τα ανωτέρω αποτελέσματα, ωστόσο, δεν είναι καθολικά αληθή και οι επιπτώσεις των εκπομπών θα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στο μείγμα παραγωγής ενέργειας και στην οικονομική πολιτική του εκάστοτε παρόχου. Είναι βέβαιο ότι η αυξημένη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών. Οι Tulpule P, Marano V, Yurkovich S, Rizzoni G (2013) εξέτασαν ένα σενάριο όπου η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων και η συνολική εκπομπή από τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας μετριέται για νυχτερινή ανεξέλεγκτη φόρτιση, φόρτιση κατά τη διάρκεια της ημέρας χωρίς ηλιακή ενέργεια και ημερήσια φόρτιση με ηλιακή ενέργεια ^[21]. Τα αποτελέσματά τους δείχνουν το όφελος από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων, με μείωση εκπομπών CO₂ κατά περίπου 70 % ετησίως μέσω της φόρτισης με ηλιακή ενέργεια στον χώρο εργασίας.

Εκτός από τη βελτιστοποίηση των ροών ενέργειας, είναι επίσης σημαντικό να ελέγχεται έξυπνα η συμπεριφορά φόρτισης. Εάν όλοι οι ιδιοκτήτες οχημάτων αποφάσιζαν να φορτίσουν την ίδια χρονική στιγμή, η σταθερότητα του δικτύου θα μπορούσε να επηρεαστεί σημαντικά. Επομένως, είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου το οποίο να συντονίζει χρονικά τη φόρτιση των οχημάτων με κριτήριο την ακεραιότητα του δικτύου. Έτσι, η πρόσβαση σε πραγματικά δεδομένα και η ικανότητα δημιουργίας ρεαλιστικών συνόλων δεδομένων επιτρέπει μια καλύτερη μοντελοποίηση της κατάστασης και συνεπώς μια βελτιστοποιημένη στρατηγική φόρτισης ^[22]. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό μιας στρατηγικής φόρτισης είναι η πιθανή αλλαγή του τρόπου οδήγησης που παρατηρείται σε πολλούς οδηγούς κατά τη μετάβαση από όχημα κινητήρα εσωτερικής καύσης σε ηλεκτρικό ή plug-in υβριδικό όχημα. Για παράδειγμα, στα ηλεκτρικά οχήματα η εμβέλεια περιορίζεται από το μέγεθος της μπαταρίας και την πρόσβαση σε υποδομές φόρτισης, γεγονός που εξωθεί τους οδηγούς να προγραμματίζουν καλύτερα τις καθημερινές τους μετακινήσεις και να προσαρμόζουν τον τρόπο οδήγησής τους. Όσον αφορά την ικανότητα παραγωγής ενέργειας, δεν

παρατηρούνται τεχνικές δυσκολίες των υποδομών σε φορτίσεις χαμηλής τάσης, παρά μόνο σε περιπτώσεις μπαταριών μεγάλης χωρητικότητας οι οποίες απαιτούν σημαντικά περισσότερο χρόνο από το μέσον όρο φόρτισης. Ωστόσο, σε περιοχές με μεγάλο αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων υπάρχει αυξημένη πιθανότητα υπερφόρτωσης του δικτύου τοπικά. Μακροπρόθεσμα, με πολύ μεγαλύτερο αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων, πιθανότατα θα απαιτηθεί πολιτική smart metering και έλεγχος φόρτισης σε επίπεδο παρόχου για τη διασφάλιση της ακεραιότητας του δικτύου.

Εκτός από τη χρήση κατάλληλων στρατηγικών φόρτισης, μεγάλος αριθμός ερευνών εστιάζει στη χρήση της αποθήκευσης ενέργειας για την εξυπηρέτηση των μέγιστων φορτίων στο σύστημα διανομής. Η αποθήκευση ενέργειας παρουσιάζει πλεονεκτήματα σε σχέση με τις αναβαθμίσεις μετασχηματιστών και καλωδίωσης ισχύος. Επιτρέπει την εξομάλυνση των φορτίων σε επίπεδο διανομής, πετυχαίνοντας υψηλότερους παράγοντες χωρητικότητας. Η αποθήκευση ενέργειας μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ωφέλιμων υπηρεσιών στην αγορά, όπως το ενεργειακό χρηματιστήριο και σε βοηθητικές υπηρεσίες ^{[23],[24]}. Η ευρεία χρήση της αποθήκευσης ενέργειας απαιτεί την ανάπτυξη πρόσθετου και πιο πολύπλοκου ελέγχου αποθήκευσης και αλγορίθμων που βελτιστοποιούν τις διάφορες ανταγωνιστικές χρήσεις της συσκευής αποθήκευσης.

Συνοψίζοντας τα ανωτέρω είναι σαφές ότι υπάρχουν τόσο ευκαιρίες όσο και προκλήσεις στον εξηλεκτρισμό των μεταφορών. Από την άποψη των εκπομπών, η πηγή καυσίμου που παράγει ηλεκτρική ενέργεια, είτε είναι άνθρακας, πυρηνική ενέργεια, αιολική ή ηλιακή ενέργεια, μπορεί να έχει τεράστιο αντίκτυπο στις συνολικές εκπομπές CO₂ του οχήματος. Επιπλέον, η ώρα της ημέρας κατά την οποία πραγματοποιείται η φόρτιση επηρεάζει το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία του οχήματος, γεγονός το οποίο έχει άμεσο αντίκτυπο στην ενέργεια και στις εκπομπές που εκλύονται από τη φόρτιση. Τα προφίλ και οι προσδοκίες χρήσης των οδηγών των ηλεκτρικών οχημάτων διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στο θέμα της φόρτισης, καθώς επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του οχήματος στο δίκτυο και τις προσδοκίες των ιδιοκτητών για τις τιμές χρέωσης. Τέλος, οι επιπτώσεις των φορτίσεων στα τοπικά δίκτυα διανομής είναι μεγάλης σημασίας, καθώς πρόκειται για

μια ευρέως αναγνωρισμένη αδυναμία των δικτύων διανομής. Με κακή διαχείριση της φόρτισης, ακόμη και ένας μικρός αριθμός οχημάτων σε έναν μετασχηματιστή κατοικίας οδηγεί σε σημαντική απώλεια της διάρκειας ζωής της μόνωσης. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε μειωμένη αξιοπιστία και αυξημένα κόστη για τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία μετακυλίνουν στον τελικό καταναλωτή. Αντίθετα, η υιοθέτηση εξελιγμένων στρατηγικών φόρτισης μπορούν να επιτρέψουν σε έναν μετασχηματιστή να εξυπηρετεί μεγάλο αριθμό οχημάτων χωρίς αξιοσημείωτη μείωση της διάρκειας ζωής του. Προκειμένου τα ηλεκτρικά οχήματα να έχουν μαζική διείσδυση στην παγκόσμια αγορά, τα παραπάνω ζητήματα και πολλά άλλα θα πρέπει να αντιμετωπιστούν σε ένα πλαίσιο που θα επιλύει τα τεχνολογικά ζητήματα και θα στοχεύει στη διερεύνηση των δυναμικών αλληλεπιδράσεων που υπάρχουν μεταξύ της ηλεκτρικής κίνησης, του ηλεκτρικού δικτύου και υποδομής, των καταναλωτών και του αποτυπώματος άνθρακα, καθώς και σε πολλαπλές ενεργειακές πολιτικές με διαφορετικούς στόχους.

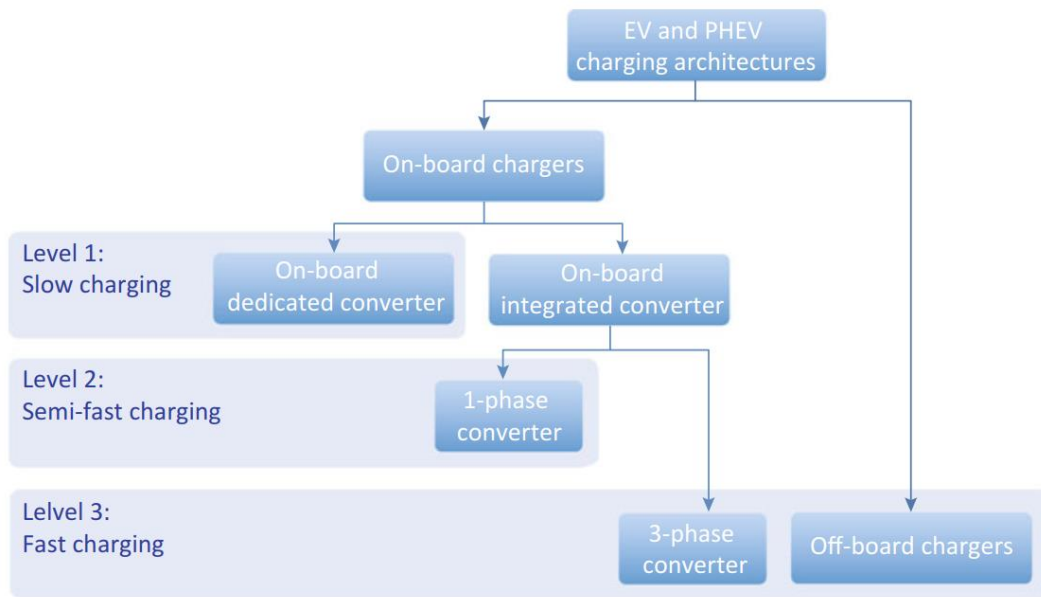
Μέχρι σήμερα, παρά το γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος της υπάρχουσας έρευνας εξετάζει και τις δύο πτυχές, πολύ λίγες έρευνες έχουν επικεντρωθεί ταυτόχρονα σε τεχνικές και κοινωνικοοικονομικές πτυχές της βιώσιμης ηλεκτρικής κίνησης. Το πρόβλημα της εστίασης στη μία πλευρά και όχι και στις δύο είναι ότι σε μια τέτοια δυναμική και αβέβαιη κατάσταση ο κίνδυνος να μην ληφθούν υπόψη οι αλληλεξαρτήσεις μεταξύ τεχνολογικών και κοινωνικοοικονομικών θεμάτων είναι μεγάλος. Για την αντιμετώπιση και σωστή αξιολόγηση ενός πολυσύνθετου θέματος όπως η ηλεκτρική κίνηση που εμπεριέχει οικονομικούς, περιβαλλοντικούς και τεχνολογικούς παράγοντες, οι οποίοι έχουν έναν πολύπλοκο μηχανισμό αλληλεπίδρασης μεταξύ αντιστάθμισης κόστους, ποιότητας αέρα, τεχνολογίας και πηγών ενέργειας, απαιτείται διεπιστημονική και ολοκληρωμένη ερευνητική προσέγγιση.

2. Σταθμοί Ηλεκτρικής Φόρτισης

Οι αρχιτεκτονικές των ηλεκτρικών φορτιστών χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: φορτιστές επί του οχήματος - onboard, που χρησιμοποιούνται κυρίως για βραδεία και ημι-ταχεία φόρτιση (σύνδεση AC) και φορτιστές εκτός οχήματος - offboard, που χρησιμοποιούνται για ταχεία φόρτιση (σύνδεση DC). Στη συνέχεια αναλύονται οι δημοφιλέστερες λύσεις που είναι διαθέσιμες στη βιομηχανία καθώς και ορισμένες πρόσφατες εξελίξεις και τάσεις που συναντώνται στη βιβλιογραφία. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στα καθιερωμένα πρότυπα φόρτισης που χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές.

Ένα από τα πιο κρίσιμα στοιχεία στα ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα είναι το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, οι μπαταρίες του οχήματος. Η πυκνότητα ενέργειας, ο χρόνος φόρτισης, η διάρκεια ζωής και το κόστος των μπαταριών είναι οι κυριότεροι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν σημαντικά τη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στην παγκόσμια αγορά. Η πυκνότητα ενέργειας και ο χρόνος φόρτισης των μπαταριών ενός ηλεκτρικού οχήματος επηρεάζουν σημαντικά την αυτονομία του και θεωρούνται ως οι κύριοι περιορισμοί από ένα ευρύ τμήμα της αγοράς για την υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων έναντι των συμβατικών οχημάτων ορυκτών καυσίμων. Επιπρόσθετα, ο χρόνος φόρτισης και ο χρόνος ζωής των μπαταριών του οχήματος είναι άμεσα συνδεδεμένα με τα χαρακτηριστικά του φορτιστή. Ως εκ τούτου, ο φορτιστής της μπαταρίας έχει γίνει επίσης βασικός παράγοντας για το παρόν και το μέλλον των ηλεκτρικών οχημάτων και την ευρεία εμπορική τους αποδοχή.

Για τους λόγους αυτούς, η έρευνα και η ανάπτυξη διαφορετικών αρχιτεκτονικών φόρτισης είναι ένα από τα πιο σημαντικά θέματα στην εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων. Η δομή, η ισχύς, οι χρόνοι φόρτισης και ο τύπος σύνδεσης μπορεί να οδηγήσουν σε διαφορετικές ταξινομήσεις των ηλεκτρικών φορτιστών. Η πιο διαδεδομένη ταξινόμηση που εφαρμόζεται σήμερα για τους φορτιστές βασίζεται στην εγκατεστημένη ισχύ τους.



Εικόνα 2.1. – Βασικές κατηγορίες φορτιστών ηλεκτρικών οχημάτων με κριτήριο την εγκατεστημένη ισχύ

Η ταξινόμηση των ηλεκτρικών φορτιστών σύμφωνα με τα επίπεδα ισχύος είναι η ακόλουθη:

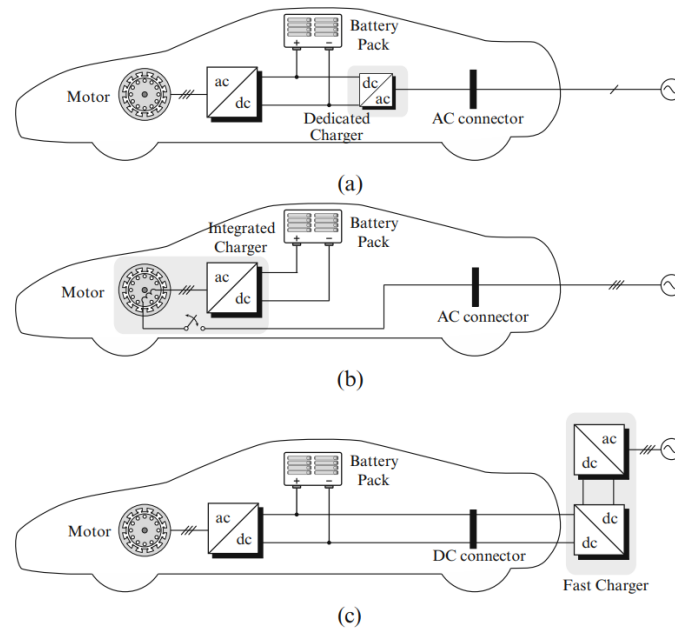
- Επίπεδο 1 για ισχύ έως 1,92kW
- Επίπεδο 2 για ισχύ έως 19,2kW
- Επίπεδο 3 για ισχύ άνω των 20kW

Επιπλέον, οι ηλεκτρικοί φορτιστές μπορεί να παρέχουν εναλλασσόμενο ή συνεχές ρεύμα στο όχημα (AC – DC chargers), καθώς και τα βασικά τους εξαρτήματα να είναι εντός ή εκτός οχήματος (onboard – offboard chargers).

Οι ενσωματωμένοι - onboard φορτιστές, όπως υποδηλώνει το όνομα, βρίσκονται στο εσωτερικό του οχήματος και παρέχουν ευελιξία, καθώς απαιτούν ελάχιστο εξωτερικό εξοπλισμό εκτός από την πρίζα. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι onboard φορτιστών, ανάλογα με το αν χρησιμοποιείται ξεχωριστός μετατροπέας ισχύος για τη φόρτιση των μπαταριών ή εάν χρησιμοποιούνται οι υφιστάμενοι μετατροπείς ισχύος που είναι ήδη διαθέσιμοι στο όχημα, οι οποίοι μεταφέρουν την ισχύ από τις μπαταρίες στον ηλεκτρικό κινητήρα.




Οι onboard φορτιστές με ξεχωριστούς μετατροπείς ισχύος είναι συνήθως μικρής ισχύος λόγω περιορισμών μεγέθους και βάρους του οχήματος και ως εκ τούτου θεωρούνται φορτιστές βραδείας φόρτισης επιπέδου 1. Είναι συνήθως μονοφασικοί και προορίζονται για φόρτιση εναλλασσόμενου ρεύματος από οικιακό ρευματοδότη κατά τη διάρκεια της νύχτας. Οι onboard φορτιστές οι οποίοι χρησιμοποιούν τους μετατροπείς ισχύος του οχήματος, με τη σειρά τους, έχουν αυξημένη ισχύ, χωρίς να προσθέτουν κόστος, μέγεθος και βάρος, μειώνοντας παράλληλα τον χρόνο φόρτισης της μπαταρίας. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική μπορεί να βρεθεί με μονοφασική και τριφασική παροχή και θεωρούνται φορτιστές βραδείας και ημι-ταχείας φόρτισης επιπέδου 2. Ο χρόνος φόρτισής τους κυμαίνεται από δέκα έως μερικές ώρες και ως εκ τούτου προορίζεται για χρήση στο σπίτι, στην εργασία ή σε parking εμπορικών καταστημάτων.

Τέλος, οι offboard φορτιστές αποτελούνται από αρχιτεκτονικές φόρτισης που βρίσκονται έξω από το όχημα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Για τον λόγο αυτό δεν υπάρχουν αυστηροί περιορισμοί που σχετίζονται με το βάρος και τον όγκο τους, σε αντίθεση με τους onboard φορτιστές. Η σύνδεση με το όχημα πραγματοποιείται απευθείας στην μπαταρία, συνεπώς η σύνδεση είναι συνεχούς ρεύματος (DC connector). Η υψηλότερη ισχύς του μετατροπέα δίνει τη δυνατότητα για μικρότερους χρόνους φόρτισης, λιγότερο από μία ώρα, εξ' ου και το όνομα DC φορτιστές ταχείας φόρτισης επιπέδου 3. Λόγω του μεγέθους και των επιπέδων ισχύος τους, έχουν σχεδιαστεί για τριφασική σύνδεση στο δίκτυο και επομένως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα στο σπίτι ή ακόμη και στην εργασία. Αντ'αυτού, εγκαθίστανται σε χώρους στάθμευσης και δημόσιες τοποθεσίες αντίστοιχες με εκείνες των συμβατικών πρατηρίων καυσίμων.



Εικόνα 2.2. – Τοπολογίες φορτιστών ηλεκτρικών οχημάτων – (a) onboard φορτιστές με ξεχωριστούς μετατροπείς ισχύος, (b) onboard φορτιστές οι οποίοι χρησιμοποιούν τους μετατροπείς ισχύος του οχήματος, (c) offboard φορτιστές συνεχούς ρεύματος ταχείας φόρτισης

Στον ακόλουθο πίνακα συνοψίζονται τα κύρια χαρακτηριστικά και οι παράμετροι των φορτιστών επιπέδου 1, 2 και 3.

Item description	Level 1	Level 2	Level 3
Speed	Slow charging	Slow/semi-fast charging	Fast charging
Charger location	Onboard	Onboard	Off-board
Connection to vehicle	AM	AM	DC
Typical use	Home	Home and work	Charging station
Typical charging time	6–10 h	30 min to 4 h	15-50 min
Power level	1.1 to 3.3 kW	3.3 to 19.2 kW	20-150 kW
Voltage	120 V	208 or 240 V	480 V
Number of phases	Single phase	Single/three phase	Three phase
External equipment	 Source: RoperId	 Source: Bosch	 Source: Blink

Πίνακας 2.1. – Χαρακτηριστικά φορτιστών ηλεκτρικών οχημάτων ανά επίπεδο φόρτισης

2.1. Σταθμοί Ταχείας Φόρτισης

Όπως είναι λογικό, η ανάπτυξη μιας επαρκούς υποδομής σταθμών γρήγορης φόρτισης στο σύνολο των βασικών οδικών αξόνων μίας χώρας θα έχει καθοριστικό ρόλο στην υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων σε ευρεία κλίμακα στο κοντινό μέλλον ^[25]. Ωστόσο, η γρήγορη φόρτιση υψηλής ισχύος είναι μία εφαρμογή που εμφανίζει τεχνικές προκλήσεις λόγω των μεγάλων ρευμάτων που τροφοδοτούν την μπαταρία, καθώς και του ευρέως φάσματος της τάσης λειτουργίας του συνόλου των εφαρμογών ^[26]. Επιπρόσθετα, η διαδικασία ταχείας φόρτισης δημιουργεί τεχνικές προκλήσεις όχι μόνο για το ίδιο το όχημα αλλά και για το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η τάξη ισχύος που απαιτείται σε έναν σταθμό ταχείας φόρτισης καθιστά τεχνικά αδύνατο να υιοθετηθεί ως λύση ενσωματωμένη επί του οχήματος λόγω της απαίτησης για εξοπλισμό με αυξημένο μέγεθος, βάρος και κόστος ^{[27],[28]}. Εξάλλου, μελέτες δείχνουν ότι η συμβατική φόρτιση κατά τη διάρκεια της νύχτας (εναλλασσόμενου ρεύματος επιπέδου 1 και 2) αναμένεται να παραμείνει ως η προτιμώμενη μέθοδος φόρτισης στους καταναλωτές ^[25]. Ακόμα κι αν ένα ηλεκτρικό όχημα διαθέτει ενσωματωμένο γρήγορο φορτιστή, η τυχαία σύνδεση DC φορτιστών υψηλής ισχύος σε διαφορετικά σημεία μίας πόλης θα έχει αρνητικές επιπτώσεις στο δίκτυο διανομής (αύξηση της αιχμής φορτίου και του κόστους ενέργειας, μείωση της σταθερότητας τάσης, προβλήματα ποιότητας ισχύος) ^[29].

Οι εφαρμογές ταχείας φόρτισης δεν είναι κατάλληλες για οικιακές εγκαταστάσεις για διάφορους λόγους. Πρώτον, πρέπει να εγκατασταθεί ειδικός εξοπλισμός στα σπίτια, ως αποτέλεσμα της αύξησης της ισχύος που καταναλώνει ο φορτιστής, προκειμένου να μειωθεί ο χρόνος φόρτισης της μπαταρίας. Επιπλέον, η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας υπερβαίνει τα ονομαστικά μεγέθη τυπικών υποδομών μίας κατοικίας. Επίσης, απαιτείται τριφασική σύνδεση του φορτιστή με το δίκτυο λόγω της αυξημένης ισχύος φόρτισης. Τέλος, το δίκτυο διανομής σε τυπικές οικιστικές περιοχές δεν έχει σχεδιαστεί για υψηλά επίπεδα ισχύος. Επομένως, για να λειτουργήσουν γρήγοροι φορτιστές σε οικιστικές περιοχές, οι μετασχηματιστές και άλλα εξαρτήματα διανομής πρέπει να αντικατασταθούν από αντίστοιχα με ονομαστικά μεγέθη για υψηλότερη ισχύ, διαφορετικά θα καταπονηθούν από επαναλαμβανόμενα φαινόμενα υπερφόρτωσης ^[30].

Η πρόσθετη απαιτούμενη υποδομή καθιστά το κόστος της γρήγορης φόρτισης σε κατοικίες υπερβολικό, γεγονός που οδηγεί στην αναζήτηση διαφορετικής προσέγγισης.

Από την πλευρά του δικτύου διανομής, μια διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων σε ευρεία κλίμακα θα προκαλέσει αυξημένη ζήτηση ενέργειας, απαιτώντας πρόσθετες μεθόδους συντονισμού για την εξυπηρέτηση του αυξημένου φορτίου και όχι απλώς επαρκή ποσότητα παραγωγής ενέργειας [31]. Ο λόγος για την απαίτηση ιδιαίτερων χειρισμών είναι η στοχαστική συμπεριφορά του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων, καθιστώντας δύσκολες τις προβλέψεις για ομαλές καμπύλες φορτίων με βάση τη ρουτίνα και την εποχικότητα. Εάν η ιδιαίτερη φύση των συγκεκριμένων φορτίων δεν αντιμετωπιστεί σωστά, το δίκτυο διανομής δεν θα είναι σε θέση να ικανοποιήσει ποιοτικά και αξιόπιστα την αυξημένη ζήτηση. Ένας μεγαλύτερος στόλος ηλεκτρικών οχημάτων θα απαιτήσει πρόσθετα αποθέματα ισχύος από το δίκτυο για να αντιμετωπιστεί η αυξημένη ζήτηση ισχύος και η αβεβαιότητα που σχετίζεται με τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Τα ανωτέρω επηρεάζουν επίσης τους μετασχηματιστές, τη χωρητικότητα των γραμμών μεταφοράς και διανομής, καθώς και τις ρυθμίσεις προστασίας που απαιτεί το δίκτυο για μία ασφαλή και σταθερή λειτουργία. Για την αύξηση της αξιοπιστίας και τον περιορισμό φαινομένων αστάθειας του δικτύου είναι απαραίτητη η προσθήκη μονάδων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας.

2.2. Πρότυπα Φόρτισης Ηλεκτρικών και Υβριδικών Οχημάτων

Ένα κρίσιμο μέρος της λειτουργίας των ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων είναι η επαναφόρτιση της μπαταρίας τους. Η διαδικασία φόρτισης δύναται να πραγματοποιηθεί με δύο διαφορετικούς τρόπους: αγωγή ή επαγωγικά. Η πρώτη μέθοδος φόρτισης χρησιμοποιεί την ηλεκτρική επαφή μεταξύ του βύσματος φόρτισης του οχήματος και του φορτιστή για να μεταφέρει την ενέργεια στην μπαταρία του οχήματος. Η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιεί ασύρματη μεταφορά ενέργειας μέσω σύζευξης ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, εξαλείφοντας το καλώδιο σύνδεσης [28],[32]. Η επαγωγική μέθοδος φόρτισης προορίζεται για φόρτιση επιπέδου 1 και 2 και είναι μία αναπτυσσόμενη τεχνική χωρίς ευρεία διάδοση στην αγορά μέχρι σήμερα.

Η συμβατική φόρτιση μέσω αγωγών έχει ήδη υιοθετηθεί από τη βιομηχανία ηλεκτρικών οχημάτων σε ευρεία κλίμακα, συμπεριλαμβανομένων των βασικών κατασκευαστών ηλεκτρικών οχημάτων. Ανάλογα με τον ρυθμό με τον οποίο φορτίζεται η μπαταρία του οχήματος, οι φορτιστές μπορούν να ταξινομηθούν σε αργούς και γρήγορους φορτιστές. Οι βραδείς ή συμβατικοί φορτιστές μπορούν να επαναφορτίσουν την μπαταρία σε 8 ώρες, ενώ οι γρήγοροι φορτιστές μπορούν να ολοκληρώσουν τη διαδικασία εντός 30 λεπτών (αν και γενικά δεν επιτρέπεται έως την πλήρη φόρτιση). Περισσότερες προδιαγραφές για τα επίπεδα ισχύος και τους χρόνους φόρτισης για τις διαθέσιμες μεθόδους φόρτισης μπορούν να βρεθούν σε ορισμένα από τα υπάρχοντα πρότυπα φόρτισης ^{[33],[34]}.

Για να ρυθμίσουν και να τυποποιήσουν τους φορτιστές ηλεκτρικών οχημάτων αρκετοί οργανισμοί, όπως οι IEEE, SAE και IEC, έχουν αναπτύξει σχετικά πρότυπα.

2.2.1. Πρότυπο SAE J1772

Ο οργανισμός μηχανικών αυτοκινήτων SAE (Society of Automotive Engineers) δημοσίευσε το πρότυπο SAE J1772^[33], το οποίο καθορίζει πρακτικές σχετικά με την αρχιτεκτονική αγωγίμης φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα. Το συγκεκριμένο πρότυπο ορίζει τρεις μεθόδους φόρτισης: επίπεδο AC 1, επίπεδο AC 2 και επίπεδο AC 3, εκτός από τα επίπεδα ταχείας φόρτισης DC, τα οποία είναι ακόμη υπό ανάπτυξη.

Charging method	Input voltage (V)	Charger location	Power level	Sperm (EV) charging time
AC Level 1	120	Onboard	1.4 kW, 12 A 1.9 kW, 16 A	7 (17) h
^a DC Level 1	200-450	Off-board	36 kW, 80 A	0.3 (1.2) h
AC Level 2	208-240	Onboard	19.2 kW, 80 A	0.4–3 (1.2–7) h
^a DC Level 2	200-450	Off-board	90 kW, 200 A	10 (20)
AC Level 3	208-240	Onboard	96 kW, 400 A	(15)
^a DC Level 3	200-600	Off-board	240 kW, 400 A	(<10) min

EV (25 kWh usable pack size) charging always starts at 20 % SOC, faster than a 1C rate will also stop at 80 % SOC instead of 100 %

PHEV (10 kWh usable pack size) can start from 0 % since the hybrid mode is available

^a Not finalized

Πίνακας 2.2. – Τοπολογίες και ονομαστικά μεγέθη φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων κατά το Πρότυπο SAE J1772

Τα επίπεδα φόρτισης 1 και 2 γενικά εμπίπτουν στην κατηγορία της βραδείας φόρτισης, εκτός από τη φόρτιση DC επιπέδου 3. Επίσης, έχει αναπτυχθεί το Ευρωπαϊκό Πρότυπο IEC 62196 το οποίο προωθεί διαφορετικά επίπεδα φόρτισης (έως 690 V AC και 1000 V DC) που είναι ανάλογα με εκείνα του SAE J1772. Ο συνδυασμός των δύο προτύπων οδήγησε στην ανάπτυξη του προτύπου CCS – Combined Charging System.

2.2.2. Πρότυπο CHAdeMO

Εκτός από τα πρότυπα των SAE και IEC, μια ένωση με το όνομα CHAdeMO (Charge de Move) πρότεινε μία μέθοδο γρήγορης φόρτισης ως παγκόσμιο βιομηχανικό πρότυπο [35]. Η ένωση CHAdeMO δημιουργήθηκε από την Tokyo Electric Power Company (TEPCO), τη Nissan, τη Mitsubishi και τη Fuji Heavy Industries. Η Toyota αργότερα προσχώρησε ως το πέμπτο εκτελεστικό της μέλος. Η TEPCO έχει αναπτύξει μια κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τεχνολογία και μία προδιαγραφή για γρήγορη φόρτιση αυτοκινήτων υψηλής τάσης και ισχύος μέσω ενός βύσματος DC γρήγορης φόρτισης το οποίο αναπτύχθηκε από το Ιαπωνικό Ινστιτούτο Έρευνας Αυτοκινήτου (JARI). Το βύσμα γρήγορης φόρτισης που αναπτύχθηκε από το JARI είναι η βάση για το πρωτόκολλο CHAdeMO. Επιπλέον, οι τεχνικές προδιαγραφές του παρέχονται από το πρότυπο για τα Ιαπωνικά ηλεκτρικά οχήματα (JEVS) G105-1993.

Η μέγιστη ισχύς φόρτισης σύμφωνα με το πρωτόκολλο CHAdeMO είναι στα 62,5kW (500 V/125 A). Το συγκεκριμένο πρότυπο κερδίζει ευρεία αποδοχή και αρκετοί κορυφαίοι βιομηχανικοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν τους γρήγορους DC φορτιστές κατά CHAdeMO (π.χ. ABB-Terra 53CJ, Fuji Electric — FRCH50B-2-01, Siemens — CP300D3xB05 4xxx). Πάνω από 10.000 φορτιστές και περισσότερα από 57.000 συμβατά ηλεκτρικά οχήματα είναι διαθέσιμα στον δρόμο σε όλο τον κόσμο. Επιπλέον, καταβάλλονται προσπάθειες για συνεχή αύξηση στην ισχύ φόρτισης των οχημάτων.

2.2.3. Πρότυπο IEC 62196

Το 1^ο μέρος του Ευρωπαϊκού προτύπου IEC 62196 παρέχει μια γενική περιγραφή της διεπαφής μεταξύ ενός ηλεκτρικού οχήματος και ενός σταθμού φόρτισης, καθώς και γενικές μηχανικές και ηλεκτρικές απαιτήσεις και δοκιμές για βύσματα και πρίζες που

προορίζονται να χρησιμοποιηθούν για φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Το 2ο μέρος του προτύπου περιγράφει συγκεκριμένα σχέδια βυσμάτων και πριζών που προορίζονται να χρησιμοποιηθούν για φόρτιση εναλλασσόμενου ρεύματος ηλεκτρικών οχημάτων επιπέδου 1, 2 και 3. Τέλος, το 3^ο μέρος του προτύπου περιγράφει συγκεκριμένα σχέδια εξαρτημάτων τα οποία προορίζονται να χρησιμοποιηθούν για τη φόρτιση DC των ηλεκτρικών οχημάτων στο επίπεδο 4, όπως περιγράφεται στα πρότυπα IEC 61851-1 και IEC 61851-23. Τα σχέδια περιγράφονται με επαρκείς λεπτομέρειες για να επιτρέπουν τη συμβατότητα μεταξύ προϊόντων διαφορετικών κατασκευαστών.

2.2.4. Πρότυπο Combined Charging System

Ο συνδυασμός των προτύπων SAE J1772 και IEC 62196 οδήγησε στην ανάπτυξη του Combined Charging System. Το συγκεκριμένο πρότυπο χρησιμοποιεί βύσματα τύπου Combo 1 και Combo 2 για να παρέχει αυξημένη ισχύ έως 350kW κατά τη φόρτιση. Αυτά τα δύο βύσματα είναι επεκτάσεις των βυσμάτων Τύπου 1 και Τύπου 2 κατά IEC 62196, με δύο επιπλέον επαφές συνεχούς ρεύματος που επιτρέπουν τη γρήγορη φόρτιση DC υψηλής ισχύος. Το σύστημα συνδυασμένης φόρτισης επιτρέπει τη φόρτιση εναλλασσόμενου ρεύματος χρησιμοποιώντας το βύσμα τύπου 1 και τύπου 2, ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή. Από το 2014 η Ευρωπαϊκή Ένωση απαίτησε την παροχή βυσμάτων τύπου 2 ή Combo 2 στο ευρωπαϊκό δίκτυο ηλεκτρικών οχημάτων. Στο CCS περιγράφονται οι απαραίτητες συνδέσεις, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, χαρακτηριστικά των σταθμών φόρτισης, του ηλεκτρικού οχήματος και απαραίτητες λειτουργίες για τη διαδικασία φόρτισης, όπως η εξισορρόπηση φορτίου και εξουσιοδότηση φόρτισης.

Τα ηλεκτρικά οχήματα τα οποία είναι συμβατά με το πρότυπο CCS υποστηρίζουν φόρτιση AC ή DC. Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων που υποστηρίζουν το πρότυπο CCS περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τις BMW, Daimler, FCA, Ford, Jaguar, General Motors, Groupe PSA, Honda, Hyundai, Kia, Mazda, MG, Polestar, Renault, Tesla, Tata Motors και Volkswagen Group.

2.2.5. Tesla Supercharger

Η Tesla επέλεξε να ανοίξει το δικό της δρόμο στη βιομηχανία των ηλεκτρικών οχημάτων με την ανάπτυξη του φορτιστή Tesla Supercharger. Αυτός ο ιδιόκτητος φορτιστής υπάρχει σε όλα τα μοντέλα Tesla στη Βόρεια Αμερική, αν και προσφέρει βύσματα CHAdeMO και CCS για ορισμένες αγορές. Για παράδειγμα, το Tesla Model 3 κατασκευάστηκε με βύσμα CCS για την Ευρώπη. Επιπλέον, τα παλαιότερα Ευρωπαϊκά μοντέλα Tesla προσαρμόστηκαν για να υποστηρίξουν την υπάρχουσα υποδομή, γεγονός το οποίο βοήθησε τους ιδιοκτήτες Tesla να εκμεταλλευτούν το αναπτυσσόμενο Ευρωπαϊκό δίκτυο σταθμών φόρτισης.

Ακόμα και μετά τη δοκιμή του βύσματος Supercharger στην αγορά της Κορέας τον Δεκέμβριο του 2020, η Tesla δεν το έχει θέσει ακόμα σε κυκλοφορία στη Βόρεια Αμερική. Το δίκτυο Superchargers της Tesla διαθέτει ήδη πάνω από 20.000 φορτιστές σε πάνω από 2.100 σταθμούς σε όλο τον κόσμο (στοιχεία Ιουλίου 2021). Ο Διευθύνων Σύμβουλος της Tesla, Έλον Μασκ, δήλωσε ότι η αμερικανική εταιρεία θα ξεκινήσει να μοιράζεται το δίκτυο Superchargers με ηλεκτρικά οχήματα άλλων κατασκευαστών μέχρι το τέλος του 2021.



Εικόνα 2.3. – Βασικοί τύποι βυσμάτων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σύμφωνα με τα ισχύοντα πρότυπα

2.3. Σταθμοί Ηλεκτρικής Φόρτισης στο Ευρωπαϊκό Οδικό Δίκτυο

Με την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία που ανακοινώθηκε τον Δεκέμβριο του 2019, η ΕΕ στοχεύει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τις μεταφορές κατά 90 % έως το 2050 σε σύγκριση με το 1990, ως μέρος μιας μεγαλύτερης προσπάθειας να γίνει μια κλιματικά ουδέτερη οικονομία. Στρατηγικό στοιχείο στο πλάνο της μείωσης των εκπομπών από τις οδικές μεταφορές είναι η μετάβαση σε εναλλακτικά καύσιμα χαμηλότερου άνθρακα. Η πιο κοινή νέα πηγή ενέργειας είναι η ηλεκτρική, ιδιαίτερα για επιβατικά οχήματα. Ωστόσο, οι οδικές μεταφορές εξακολουθούν να εξαρτώνται σχεδόν εξ ολοκλήρου από ορυκτά καύσιμα, καθώς περίπου το 95 % όλων των οδικών οχημάτων στην Ευρώπη εξακολουθούν να τροφοδοτούνται συμβατικά ^[36]. Εκτός από το υψηλότερο κόστος αγοράς, η έλλειψη σταθμών φόρτισης και ανεφοδιασμού εμποδίζει την ανάπτυξη της αγοράς εναλλακτικών καυσίμων.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση Κατασκευαστών Αυτοκινήτων, το 89,4% όλων των νέων οχημάτων που ταξινομήθηκαν στην ΕΕ το 2019 κινούνταν με βενζίνη ή ντίζελ, ενώ τα υβριδικά οχήματα αντιπροσώπευαν το 6 %, τα ηλεκτρικά οχήματα το 3% και όλα τα άλλα μη ηλεκτρικά (π.χ. αέριο ή υδρογόνο) οχήματα εναλλακτικών καυσίμων μόλις το 1,6 %. Το 2020, τα ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα αύξησαν σημαντικά το μερίδιο αγοράς τους μέσα στα πλαίσια μίας γενικότερης μείωσης στις πωλήσεις αυτοκινήτων εξαιτίας της πανδημίας του COVID-19. Τα ηλεκτρικά οχήματα ήταν το 10,5 % των νέων ταξινομήσεων το 2020 ^[37]. Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων προβλέπουν ότι η παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρώπη θα πολλαπλασιαστεί έξι φορές μεταξύ του 2019 και του 2025, φτάνοντας σε περισσότερα από 4 εκατομμύρια αυτοκίνητα και φορτηγά ετησίως ή περισσότερο από το ένα πέμπτο του συνολικού όγκου παραγωγής αυτοκινήτων στην ΕΕ ^[38].

Η ανάπτυξη υποδομών φόρτισης παράλληλα με τη διάδοση ηλεκτρικών οχημάτων την αγορά αποτελεί βασικό μοχλό για τη μετάβαση σε εναλλακτικά καύσιμα και σε στόλο οχημάτων με μηδενικές εκπομπές ρύπων έως το 2050. Ο απώτερος στόχος της

Ευρωπαϊκής πολιτικής είναι η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων να καταστεί τόσο εύκολη όσο ο ανεφοδιασμός μιας συμβατικής δεξαμενής βενζίνης, έτσι ώστε τα ηλεκτρικά οχήματα να μπορούν να ταξιδεύουν χωρίς δυσκολία σε όλη την ΕΕ. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, η ΕΕ αντιμετωπίζει την ακόλουθη πρόκληση: Αφενός, η ευρεία διάδοση των ηλεκτρικών οχημάτων θα περιοριστεί έως ότου είναι διαθέσιμες επαρκείς υποδομές φόρτισης στο οδικό δίκτυο, αφετέρου, για να γίνουν επενδύσεις σε υποδομές φόρτισης σε ευρεία κλίμακα απαιτείται βεβαιότητα για μελλοντικό ικανοποιητικό μερίδιο της αγοράς από ηλεκτρικά οχήματα.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει το ρόλο της καθοδήγησης της συνολικής πολιτικής εναλλακτικών καυσίμων της ΕΕ. Η προστιθέμενη αξία της δράσης της ΕΕ σε αυτόν τον τομέα είναι ότι η υποδομή εναλλακτικών καυσίμων είναι μια διακρατική πρόκληση, αλλά τα μεμονωμένα κράτη-μέλη δεν διαθέτουν τα απαραίτητα εργαλεία για να επιτύχουν πανευρωπαϊκό συντονισμό. Αυτό που μπορεί να κάνει η Επιτροπή είναι να υιοθετήσει κοινά πρότυπα για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας, να συντονίσει και να υποστηρίξει την ανάπτυξη των υποδομών ηλεκτρικής φόρτισης από τα κράτη-μέλη και να παρακολουθεί την πρόοδό της. Μέσω του ταμείου «Συνδέοντας την Ευρώπη»* (Connecting Europe Facility – CEF) η Επιτροπή παρέχει οικονομική υποστήριξη στα κράτη-μέλη για την ανάπτυξη των υποδομών φόρτισης.

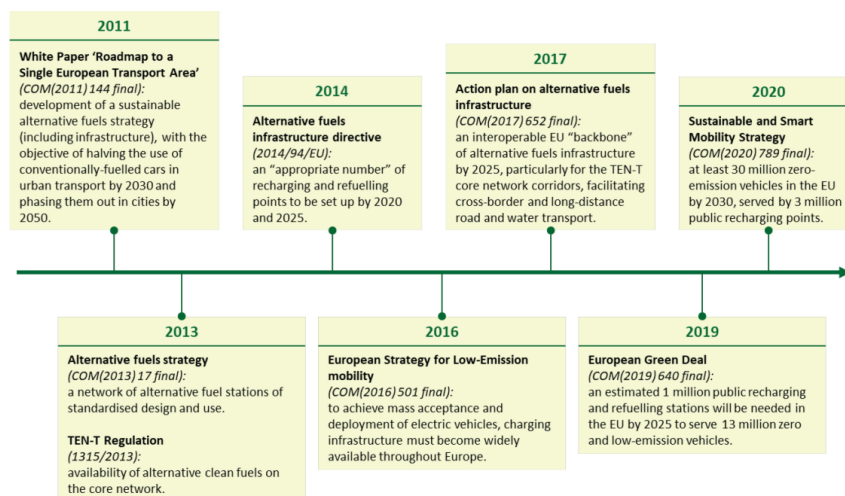
Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει πετύχει να προωθήσει ένα κοινό πρότυπο για βύσματα ηλεκτρικής φόρτισης της ΕΕ και οι χρήστες αποκτούν σταδιακά πιο εναρμονισμένη πρόσβαση σε διαφορετικά δίκτυα φόρτισης. Ωστόσο, για να ταξιδέψει κάποιος σε όλη την ΕΕ με ηλεκτρικό όχημα εξακολουθεί να εμφανίζει δυσκολίες.

Παρόλο που το δίκτυο φόρτισης αυξάνεται σε ολόκληρη την ΕΕ, η ανάπτυξη είναι αποσπασματική και διαφέρει μεταξύ των κρατών μελών, καθώς δεν υπάρχει ενιαίο πλαίσιο με σαφείς και ξεκάθαρες ελάχιστες απαιτήσεις υποδομής για να διασφαλιστεί η ομαλή ηλεκτροκίνηση σε όλη την ΕΕ.

**Ταμείο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για επενδύσεις σε υποδομές σε ολόκληρη την ένωση σε έργα μεταφορών, ενέργειας και ψηφιακού χαρακτήρα που στοχεύουν σε μεγαλύτερη σύνδεση μεταξύ των κρατών μελών της ΕΕ. Λειτουργεί μέσω επιχορηγήσεων, οικονομικών εγγυήσεων και ομολόγων έργων.*

Η ΕΕ βρίσκεται ακόμα πολύ μακριά από τον φιλόδοξο στόχο της για την Πράσινη Συμφωνία, ύψους 1 εκατομμυρίου σημείων φόρτισης έως το 2025, και δεν διαθέτει ακόμα ενιαίο στρατηγικό χάρτη για την ηλεκτροκίνηση. Τα ταξίδια σε όλη την ΕΕ περιπλέκονται ακόμη περισσότερο από την απουσία εναρμονισμένων συστημάτων πληρωμών με ελάχιστες απαιτήσεις και βάσεων δεδομένων με επαρκείς πληροφορίες σχετικά με τις τοποθεσίες των σταθμών φόρτισης, τη διαθεσιμότητα σε πραγματικό χρόνο και τα στοιχεία χρέωσης των σταθμών φόρτισης.

Η χρηματοδοτική υποστήριξη της ΕΕ από το ταμείο «Συνδέοντας την Ευρώπη» έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για την προώθηση της ανάπτυξης διαλειτουργικών σταθμών φόρτισης σε ολόκληρη την ΕΕ. Ωστόσο, ελλείπει μίας ενιαίας και ολοκληρωμένης ανάλυσης των ελλείψεων σε υποδομές φόρτισης σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, η Επιτροπή δεν έχει διασφαλίσει ότι η χρηματοδότηση από την ΕΕ απορροφάται εκεί που χρειάζεται περισσότερο. Επιπλέον, δεν έχουν τεθεί ακόμα οι απαιτήσεις για τη χρηματοδότηση των σταθμών φόρτισης, όπως μια ελάχιστη περίοδος λειτουργίας των σταθμών ή η διασφάλιση ίσης και δίκαιης πρόσβασης για όλους τους Ευρωπαίους πολίτες που χρησιμοποιούν ηλεκτρικά οχήματα. Τα περισσότερα έργα που έχουν κατασκευαστεί ή είναι σε εξέλιξη παρουσιάζουν καθυστερήσεις στην υλοποίηση και ορισμένα δεν έχουν ολοκληρωθεί στο σύνολό τους. Τέλος, τα ποσοστά κατασκευής συγχρηματοδοτούμενων σταθμών είναι χαμηλά, γεγονός που αυξάνει τους κινδύνους βιωσιμότητας των επενδύσεων σε σταθμούς φόρτισης.



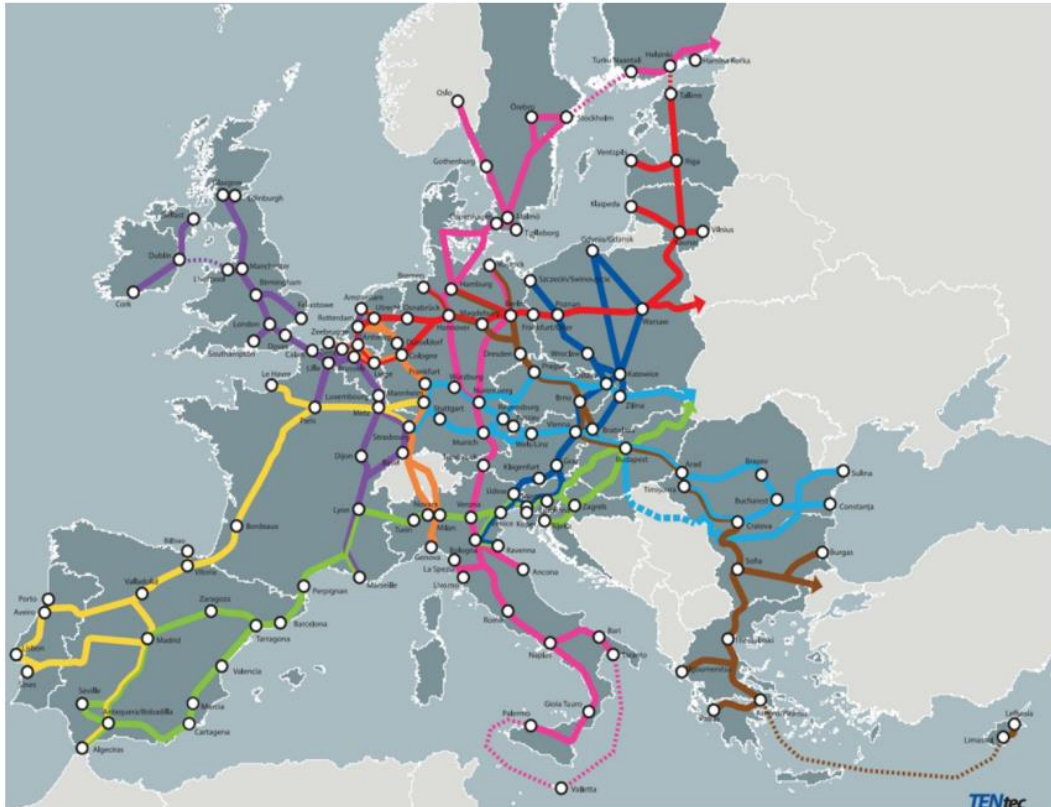
Εικόνα 2.4. – Κυριότερα σημεία της στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ανάπτυξη υποδομών για οχήματα εναλλακτικών καυσίμων.

Η Ευρωπαϊκή οδηγία του 2014 για τις υποδομές εναλλακτικών καυσίμων αποτελεί βασικό εργαλείο πολιτικής στη συνολική στρατηγική της ΕΕ για την ανάπτυξη δημόσιων προσβάσιμων υποδομών ηλεκτρικής φόρτισης^[39]. Στόχος της οδηγίας είναι να ξεπεραστεί μία ενδεχόμενη αποτυχία της αγοράς: αφενός, η απορρόφηση των οχημάτων θα περιοριστεί έως ότου διατεθεί ικανή υποδομή φόρτισης, ενώ από την άλλη, οι επενδύσεις σε υποδομές απαιτούν μεγαλύτερη βεβαιότητα για τα επίπεδα απορρόφησης των οχημάτων. Η ανάπτυξη των υποδομών ηλεκτρικής φόρτισης σε παρόμοιους ρυθμούς με τη διάδοση των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά αποτελεί βασικό παράγοντα για την επιτυχή μετάβαση των μεταφορών στα εναλλακτικά καύσιμα.

Το άρθρο 39 του κανονισμού του 2013 για το Διευρωπαϊκό Δίκτυο Μεταφορών* (ΔΔΜ), περιλαμβάνει τη «διαθεσιμότητα εναλλακτικών καθαρών καυσίμων» ως απαίτηση υποδομής για τις οδικές μεταφορές, ιδίως για το «βασικό» οδικό δίκτυο, το οποίο πρόκειται να ολοκληρωθεί έως το 2030.

Το «ολοκληρωμένο» δίκτυο, το οποίο θα ολοκληρωθεί έως το 2050, στοχεύει στη διασφάλιση της προσβασιμότητας και της συνδεσιμότητας όλων των περιοχών της ΕΕ. Το κεντρικό δίκτυο αποτελείται από εκείνα τα μέρη του ολοκληρωμένου δικτύου, τα οποία έχουν ύψιστη στρατηγική σημασία για την επίτευξη των στόχων του ΔΔΜ. Εντός των 50.000 χιλιομέτρων του κεντρικού δικτύου υπάρχουν εννέα διαδρομές που καλύπτουν τις σημαντικότερες ροές κυκλοφορίας που διασχίζουν την ΕΕ. Προκειμένου να διευκολυνθεί η συντονισμένη υλοποίηση στο σύνολο των κεντρικών οδικών αξόνων, υπάρχουν εννέα Ευρωπαϊκοί συντονιστές ανά κεντρικό άξονα διορισμένοι από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

**Το Διευρωπαϊκό Δίκτυο Μεταφορών είναι ένα προγραμματισμένο δίκτυο οδικών, σιδηροδρομικών, αερολιμένων και υδάτινων υποδομών στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Το δίκτυο ΔΕΔ-Μ αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου συστήματος Διευρωπαϊκών Δικτύων, συμπεριλαμβανομένου ενός δικτύου τηλεπικοινωνιών και ενός προτεινόμενου ενεργειακού δικτύου.*



Atlantic, Baltic-Adriatic, Mediterranean, North Sea-Baltic, North Sea-Mediterranean, Orient-East Mediterranean, Rhine-Alpine, Rhine-Danube, Scandinavian Mediterranean.

Source: European Commission.

Εικόνα 2.5. – Εννέα κεντρικοί οδικοί άξονες οι οποίοι αποτελούν το κεντρικό δίκτυο του Διευρωπαϊκού Δικτύου Μεταφορών, με στόχο τη διαθεσιμότητα εναλλακτικών καθαρών καυσίμων έως το 2030.

Αναφορικά με την αγορά αυτοκινήτων, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν βοηθηθεί από τη νομοθεσία της ΕΕ σχετικά με τα όρια εκπομπών CO₂ για νέα επιβατικά αυτοκίνητα και φορτηγά. Ο στόχος του 2015 για 130g CO₂/km σταδιακά περιορίστηκε στα 95g CO₂/km από το 2020 και μετά, με περαιτέρω μειώσεις το 2025 και 2030 ^[40]. Με την παράλληλη εφαρμογή ενός συστήματος κινήτρων και κυρώσεων για τους κατασκευαστές αυτοκινήτων, η συγκεκριμένη νομοθεσία αναμένεται να είναι βασικός καταλύτης στην αύξηση του αριθμού των ηλεκτρικών οχημάτων τα επόμενα χρόνια, οδηγώντας κατά συνέπεια σε αυξημένες ανάγκες για υποδομές φόρτισης.

Όπως αναλύθηκε παραπάνω, η εμπορική διάδοση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με την ανάπτυξη υποδομών φόρτισης θα πρέπει να είναι έννοιες παράλληλες και

αλληλένδετες ώστε το αποτέλεσμα να είναι επιτυχημένο. Μία σημαντική έλλειψη της Κοινοτικής Οδηγίας για τα εναλλακτικά καύσιμα η οποία χρήζει διευκρίνισης είναι ότι δεν κάνει διάκριση μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων με μπαταρία και υβριδικών οχημάτων, τα οποία διαφέρουν κατά πολύ ως προς τον τρόπο φόρτισης. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία απορροφούν σχεδόν τέσσερις φορές περισσότερη ενέργεια από τα υβριδικά οχήματα κατά τη διάρκεια των φορτίσεων μίας εβδομάδας ^[41].

Για τον συντονισμό της υλοποίησης των υποδομών φόρτισης σε επίπεδο κρατών - μελών, Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρείχε στα κράτη μέλη λεπτομερείς οδηγίες για την προετοιμασία των εθνικών πλαισίων πολιτικής. Ολοκλήρωσε την αξιολόγησή των περισσότερων εθνικών σχεδίων τον Νοέμβριο του 2017, με συνέχεια τον Φεβρουάριο του 2019 ^[42]. Συνολικά, η Επιτροπή κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η πληρότητα, η συνοχή και η φιλοδοξία των εθνικών σχεδίων υλοποίησης ποικίλλουν σημαντικά, γεγονός που θα μπορούσε να οδηγήσει σε κατακερματισμό της αγοράς στην ΕΕ. Πιο συγκεκριμένα, η Επιτροπή διαπίστωσε ότι:

- i. Δύο κράτη μέλη (Ισπανία και Σουηδία) δεν είχαν θέσει στόχο για σημεία φόρτισης το 2020 και παρείχαν εκτιμήσεις μόνο στις εκθέσεις υλοποίησης του 2019 που εκπονήθηκαν στη συνέχεια.
- ii. Παρόλο που η καθοδήγηση της Επιτροπής είχε προτείνει τον προσδιορισμό αναγκών σε υποδομές και οχήματα για το 2020, το 2025 και το 2030, μόνο 11 κράτη - μέλη παρουσίασαν στόχους και εκτιμήσεις για το 2025 και το 2030.
- iii. Τα επίπεδα φιλοδοξίας των εθνικών σχεδίων ποικίλλουν σημαντικά, με εκτιμώμενα συνολικά μερίδια αγοράς για ηλεκτρικά οχήματα επί του συνολικού στόλου έως το 2020 να κυμαίνονται από 0,02 % έως 9,22 %.
- iv. Μόνο δέκα κράτη - μέλη είχαν θέσει στόχους που θα διασφάλιζαν τουλάχιστον ένα σημείο φόρτισης για κάθε 10 ηλεκτρικά οχήματα προσβάσιμο στο κοινό μέχρι το 2020.

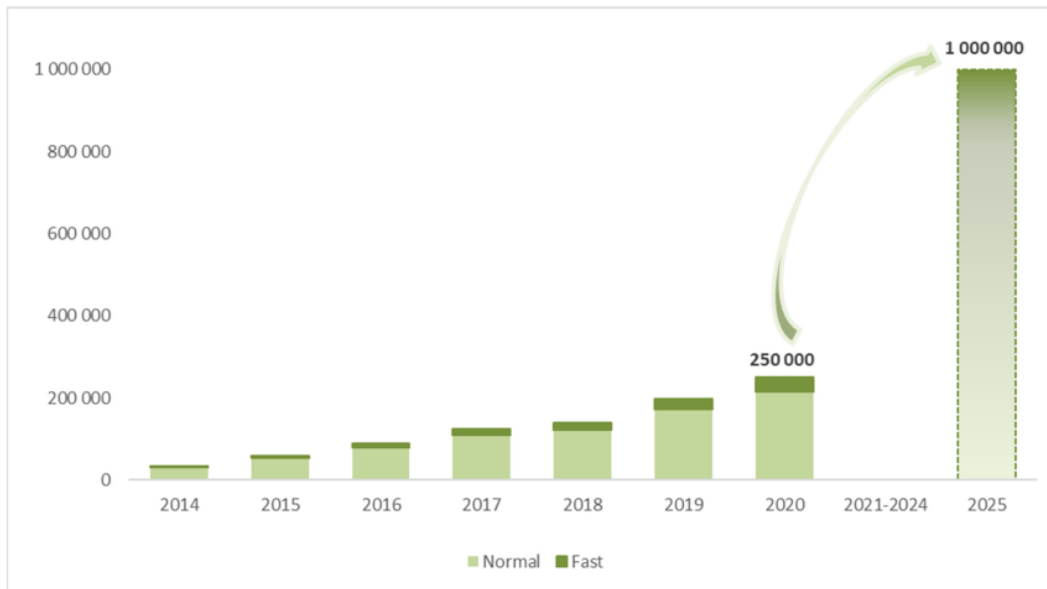
2.3.1. Η Ανομοιόμορφη Ανάπτυξη του Δικτύου Φορτιστών στο Ευρωπαϊκό Οδικό Δίκτυο

Στο σχέδιο δράσης του 2017 για τις υποδομές εναλλακτικών καυσίμων, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτίμησε ότι ο αριθμός των δημοσίως προσβάσιμων σημείων φόρτισης θα πρέπει να αυξηθεί από 118.000 που ήταν τότε σε 440.000 το 2020 και σε περίπου 2 εκατομμύρια το 2025. Η Πράσινη Συμφωνία 2019 επικαιροποίησε την εκτίμηση για το 2025 σε 1 εκατομμύριο δημόσια σημεία φόρτισης. Η Στρατηγική της ΕΕ για Έξυπνες και Βιώσιμες Μεταφορές του 2020 έχουν θέσει ως στόχο τα 3 εκατομμύρια δημόσια σημεία φόρτισης έως το 2030.

Ωστόσο, παραμένει σημαντική αβεβαιότητα σχετικά με αυτές τις εκτιμήσεις και τί πρέπει να γίνει για την επίτευξη των καθορισμένων στόχων. Η ΕΕ δεν διαθέτει συνολικό στρατηγικό χάρτη πορείας για την ηλεκτροκίνηση και ολοκληρωμένη πολιτική για οχήματα, υποδομές, δίκτυα, μπαταρίες, οικονομικά κίνητρα, πρώτες ύλες και ψηφιακές υπηρεσίες. Για την καθοδήγηση της υλοποίησης ένα τέτοιο έγγραφο θα έπρεπε να περιλαμβάνει εκτιμήσεις για τον απαιτούμενο αριθμό, τον τύπο και την πυκνότητα των δημόσιων σημείων φόρτισης, καθώς και μία εκτίμηση συνολικού κόστους για την κατασκευή τους. Ολοκληρωμένες εκτιμήσεις θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως το εκτιμώμενο μερίδιο αγοράς από ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα, το οποίο θα επηρεάσει και την απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας από σταθμούς φόρτισης. Επίσης, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η επάρκεια ισχύος του δικτύου διανομής στα πιθανά σημεία σταθμών φόρτισης, καθώς και οι τεχνολογικές εξελίξεις στις συστοιχίες των μπαταριών που επηρεάζουν άμεσα την αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων.

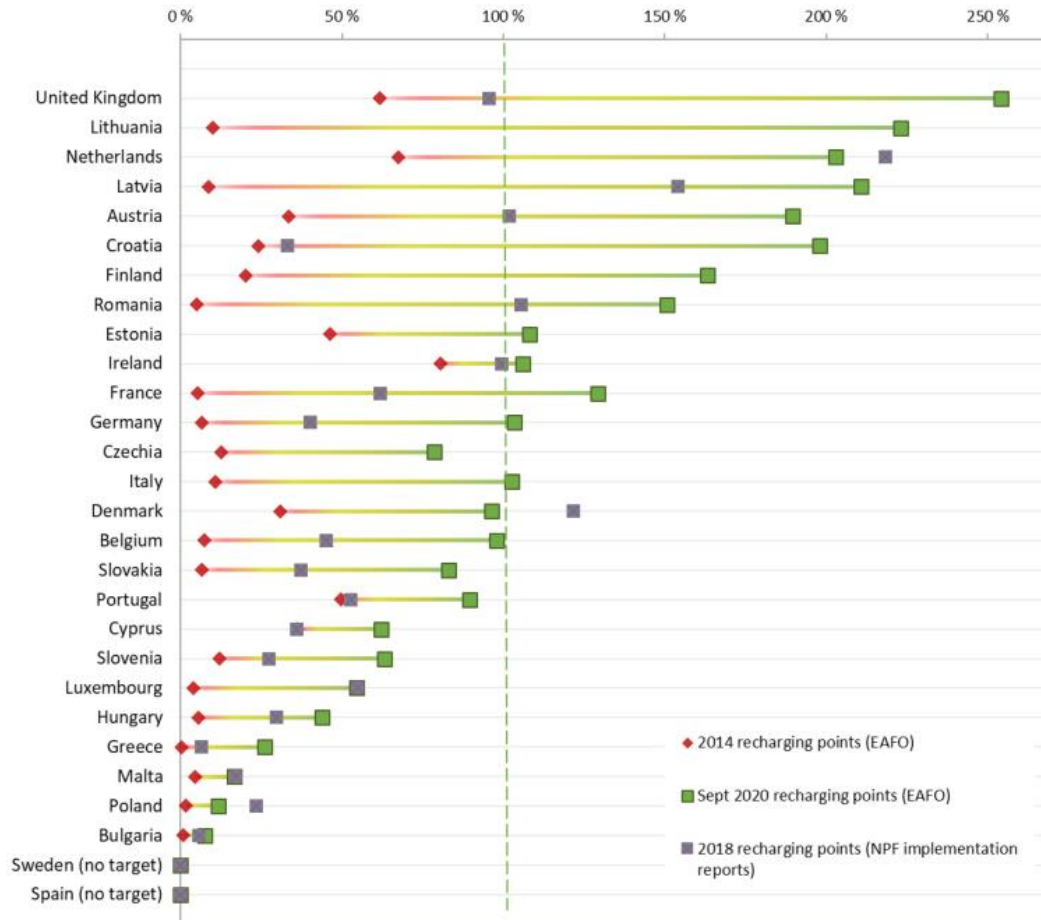
Ο αριθμός των δημοσίως προσβάσιμων σημείων φόρτισης στην ΕΕ των 27 κρατών – μελών και στο Ηνωμένο Βασίλειο αυξήθηκε από περίπου 34.000 το 2014 σε 250.000 τον Σεπτέμβριο του 2020 (14% από τα οποία είναι ταχείας φόρτισης όπως ορίζεται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία, δηλ. με ισχύ άνω των 22 kW). Ο αριθμός αυτός είναι σημαντικά χαμηλότερος από τα εκτιμώμενα 440.000 σημεία φόρτισης σύμφωνα με σχέδιο δράσης του 2017. Εάν η ανάπτυξη των υποδομών συνεχίσει να ακολουθεί τον

ρυθμό του 2014-2020, θα υπάρχει σημαντικός κίνδυνος ο στόχος του 1 εκατομμυρίου σημείων φόρτισης έως το 2025 να μην επιτευχθεί. Για να αναπληρωθεί το υπάρχον κενό απαιτείται η κατασκευή περίπου 150.000 σημείων φόρτισης κάθε χρόνο.



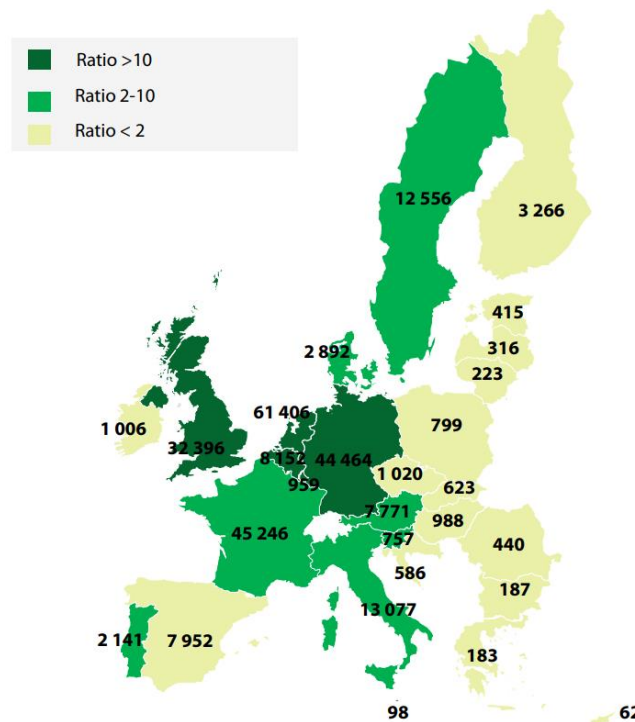
Εικόνα 2.6. – Σταθμοί ηλεκτρικής φόρτισης στο Ευρωπαϊκό Οδικό Δίκτυο (ΕΕ των 27 και Ηνωμένο Βασίλειο) και ο στόχος της Πράσινης Συμφωνίας για το 2025 (δεδομένα Σεπτεμβρίου 2020).

Σύμφωνα με τις εκθέσεις εφαρμογής που υπέβαλλαν τα κράτη – μέλη το 2019 στην Επιτροπή, έως το 2018, πέντε κράτη - μέλη είχαν ήδη επιτύχει τους στόχους σταθμών φόρτισης που είχαν αρχικά καθοριστεί για το 2020. Αντίθετα, 12 κράτη - μέλη ήταν ακόμη κάτω από το 50 % του στόχου. Παρακάτω απεικονίζονται πιο πρόσφατα δεδομένα της κατάστασης της ανάπτυξης σημείων φόρτισης ανά κράτος - μέλος, με βάση δεδομένα από το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Εναλλακτικών Καυσίμων (ΕΑΦΟ) από τον Σεπτέμβριο του 2020.



Εικόνα 2.7. – Σταθμοί ηλεκτρικής φόρτισης ανά κράτος – μέλος και ποσοστό επίτευξης με βάση τα υποβληθέντα εθνικά σχέδια υλοποίησης.

Η άνιση ανάπτυξη υποδομών φόρτισης είναι εμφανής επίσης ως προς την αναλογία των σταθμών ως προς την επιφάνεια κάθε κράτους – μέλους. Υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των κρατών - μελών, με τη μεγαλύτερη πυκνότητα σταθμών να παρατηρείται στη δυτική Ευρώπη και τη χαμηλότερη στις χώρες της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης. Στην ΕΕ των 27, η Γερμανία, η Γαλλία και οι Κάτω Χώρες μαζί αντιπροσωπεύουν τη μεγάλη πλειοψηφία (69 %) όλων των σημείων φόρτισης σε πανευρωπαϊκό επίπεδο. Η ανισοκατανομή των υποδομών φόρτισης ανάμεσα στα κράτη – μέλη καθιστά δύσκολο ένα ομαλό ταξίδι με ηλεκτρικό όχημα κατά μήκος του Ευρωπαϊκού οδικού άξονα.



Εικόνα 2.8. – Αριθμός σταθμών ηλεκτρικής φόρτισης ανά κράτος – μέλος και αναλογία σταθμών ανά 100 τετραγωνικά χιλιόμετρα εδαφικής έκτασης (Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Εναλλακτικών Καυσίμων (EAF0) - Σεπτέμβριος 2020 – εδαφικά δεδομένα από Eurostat).

2.3.2. Κοινά Ευρωπαϊκά Πρότυπα Φόρτισης

Αναφορικά με την τυποποίηση της διαδικασίας φόρτισης, υπάρχουν διαφορετικά πρότυπα/βύσματα φόρτισης σε όλο τον κόσμο. Σε μια προσπάθεια καθιέρωσης κοινών προτύπων βύσματος στην ΕΕ, η Κοινοτική Οδηγία όρισε ότι, για να διασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα, τα σημεία φόρτισης στην ΕΕ θα πρέπει να είναι εξοπλισμένα με τουλάχιστον βύσμα τύπου 2 (AC) και το πρότυπο συνδυασμένου συστήματος φόρτισης (CCS) για DC φόρτιση. Για να προσεγγίσουν περισσότερους πελάτες, πολλοί φορείς εκμετάλλευσης σημείων φόρτισης επενδύουν σε πολλαπλούς φορτιστές με βύσματα CCS, CHAdeMO και Type 2, με αυτές τις επενδύσεις να πληρούν τις προϋποθέσεις για χρηματοδότηση από το ταμείο «Συνδέοντας την Ευρώπη» CEF. Το συγκεκριμένο ταμείο δεν υποστηρίζει σταθμούς φόρτισης της Tesla, οι οποίοι αποτελούν μέρος ενός αποκλειστικού ιδιόκτητου δικτύου φόρτισης που, προς το παρόν, μπορούν να χρησιμοποιήσουν μόνο οι οδηγοί Tesla. Όσον αφορά τα οχήματα, όλοι οι

κατασκευαστές ηλεκτρικών οχημάτων έχουν υιοθετήσει το πρότυπο τύπου 2 για φόρτιση εναλλασσόμενου ρεύματος στην Ευρωπαϊκή αγορά. Για τη φόρτιση DC, οι περισσότεροι κατασκευαστές έχουν ήδη αλλάξει ή μεταβαίνουν στο πρότυπο CCS, με ορισμένα μοντέλα εξακολουθούν να χρησιμοποιούν άλλα πρότυπα.



Εικόνα 2.9. – Σταθμός ηλεκτρικής φόρτισης χρηματοδοτούμενος από το ταμείο «Συνδέοντας την Ευρώπη» ο οποίος συνδυάζει 3 διαφορετικά πρότυπα φόρτισης (CHAdeMO, CCS, Type 2).

Παρά τη χρηματοδότηση και κατασκευή σταθμών με πολλαπλά βύσματα φόρτισης, τα ταξίδια στην ΕΕ εξακολουθούν να είναι περίπλοκα λόγω της απουσίας ελαχίστων απαιτήσεων για εναρμονισμένα συστήματα πληρωμών και ενιαίας βάσης δεδομένων σταθμών φόρτισης.

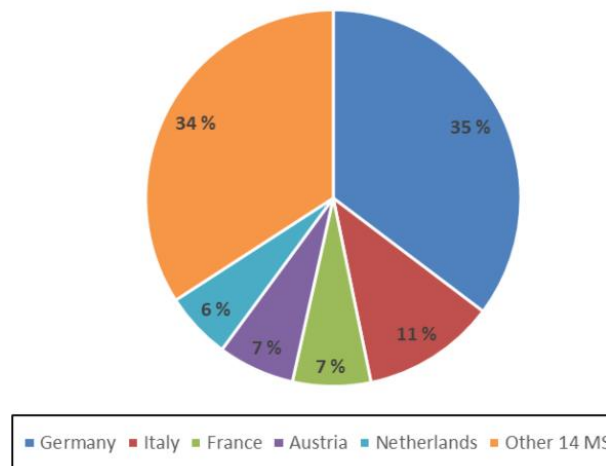
Ένας πλήρως λειτουργικός σταθμός φόρτισης απαιτεί πολλούς φορείς που πρέπει να επικοινωνούν αποτελεσματικά μεταξύ τους. Εκτός από τους φορείς εκμετάλλευσης των σημείων φόρτισης (υπεύθυνοι για την κατασκευή και τη συντήρηση) και τους παρόχους υπηρεσιών μεταφορών (παρέχοντας στους καταναλωτές μια σειρά προϊόντων ή υπηρεσιών μεταφορών) στο οικοσύστημα περιλαμβάνονται οι οδηγοί, οι κατασκευαστές των ηλεκτρικών οχημάτων και οι πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας. Η

Κοινοτική οδηγία ορίζει ότι οι φορείς εκμετάλλευσης των σημείων φόρτισης πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν υπηρεσίες φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε πελάτες σε συμβατική βάση, έχοντας τη δυνατότητα να εκπροσωπήσουν λοιπούς παρόχους υπηρεσιών. Το συγκεκριμένο μοντέλο απαιτεί τεχνολογία "περιαγωγής" μεταξύ των φορέων φόρτισης και των παρόχων υπηρεσιών μεταφορών ώστε να επιτρέπουν στους οδηγούς να πληρώνουν για τις υπηρεσίες με τη χρήση ενός μοναδικού τρόπου αναγνώρισης και πληρωμής. Για να επιτευχθούν τα παραπάνω και να λειτουργήσουν συνεργατικά σε ένα ενιαίο μοντέλο, απαιτείται συμβατική συμφωνία μεταξύ όλων των ενδιαφερομένων φορέων, τα σημεία φόρτισης να είναι εξοπλισμένα με σύνδεση στο διαδίκτυο, να υπάρχει συσκευή POS ανάγνωσης καρτών, καθώς και διαλειτουργικά πρωτόκολλα επικοινωνίας.

Για τη βελτίωση της κατάστασης και την ομογενοποίηση των μοντέλων λειτουργίας των σταθμών φόρτισης σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, η Επιτροπή προετοιμάζει επί του παρόντος αίτημα προς τους Ευρωπαϊκούς Οργανισμούς Τυποποίησης να αναπτύξουν νέα κοινά Ευρωπαϊκά πρότυπα λειτουργίας και να συμπληρώσουν τα υπάρχοντα για να υποστηρίξουν μία πλήρη διαλειτουργική επικοινωνία (συμπεριλαμβανομένης της περιαγωγής) στον τομέα της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Εκτιμάται ότι τα κυριότερα νέα πρότυπα θα έχουν οριστικοποιηθεί έως το 2023 για μεταγενέστερη υιοθέτηση στο πλαίσιο μίας αναθεωρημένης Κοινοτικής οδηγίας. Η Επιτροπή έχει επίσης υποστηρίξει μια ομάδα 15 κρατών - μελών στη συνολική διαδικασία συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, ώστε συγκεκριμένα δεδομένα για τη θέση και τη διαθεσιμότητα των σημείων φόρτισης να είναι διαθέσιμα και σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία για τις "έξυπνες" μεταφορές ^{[43],[44]}.

Ένας επιπρόσθετος παράγοντας ο οποίος αποτελεί αιτία της μη ισομερούς ανάπτυξης του δικτύου φορτιστών μεταξύ των κρατών – μελών είναι η ανισοκατανομή των χρηματοδοτήσεων ανάμεσα στα κράτη – μέλη. Στο ακόλουθο γράφημα φαίνεται χαρακτηριστικά αυτή η ανισοκατανομή, η οποία προκαλεί υπερχρηματοδότηση σε ανεπτυγμένα οδικά δίκτυα όπως της Γερμανίας και ελλιπή χρηματοδότηση σε περιοχές όπως η νοτιοανατολική Ευρώπη. Κυριότερη αιτία της ανισοκατανομής της

χρηματοδότησης είναι ότι δεν υπάρχουν ακόμα ενιαία κριτήρια χρηματοδότησης και ανάλυση των κενών των υποδομών σε πανευρωπαϊκό επίπεδο.



Εικόνα 2.10. – Γεωγραφική κατανομή των Ευρωπαϊκών χρηματοδοτήσεων ανά κράτος – μέλος σε ήδη κατασκευασμένους σταθμούς φόρτισης.

Κριτήρια για συγχρηματοδότηση σταθμών φόρτισης από την Ευρωπαϊκή Ένωση

Το νομικό πλαίσιο που ισχύει για τις συγχρηματοδοτούμενες επενδύσεις με πόρους της Ευρωπαϊκής Ένωσης απαιτεί να συνοδεύονται από ανάλυση κόστους / οφέλους (CBA), η οποία χρησιμεύει ως βάση για την απόδειξη της οικονομικής βιωσιμότητάς τους και για τη διαμόρφωση της χρηματοδοτικής βοήθειας της ΕΕ. Αυτές οι απαιτήσεις αντικατοπτρίζονται στις προσκλήσεις υποβολής προτάσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για συγχρηματοδοτούμενα προγράμματα ^[45].

Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές που παρέχει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, οι αναλύσεις κόστους - οφέλους για συγχρηματοδοτούμενες επενδύσεις στον τομέα της καινοτομίας θα πρέπει να προβάλλουν τις αναμενόμενες ταμειακές ροές για μια περίοδο αναφοράς μεταξύ 15 και 25 ετών ^[46]. Αν και η συγκεκριμένη απαίτηση δεν είναι δεσμευτική, οι παρεκκλίσεις από αυτήν θα πρέπει να αιτιολογούνται και να τεκμηριώνονται δεόντως.

Το ταμείο «Συνδέοντας την Ευρώπη» συγχρηματοδοτεί την ανάπτυξη υποδομών φόρτισης από το 2014. Συνολικά, οι συμφωνίες επιχορήγησης που υπογράφηκαν μεταξύ 2015 και 2020 υπολογίζονται περίπου στα 19.000 σημεία φόρτισης, τα οποία

θα κατασκευαστούν στα οδικά δίκτυα της ΕΕ και του Ηνωμένου Βασιλείου. Οι συμφωνίες επιχορήγησης περιλαμβάνουν επίσης βασικές ποιοτικές απαιτήσεις: Οι δικαιούχοι πρέπει να εγκαταστήσουν τα τυπικά βύσματα φόρτισης που ορίζει η Κοινοτική οδηγία, να εξασφαλίσουν ανοιχτή πρόσβαση 24 ώρες την ημέρα για τους οδηγούς και να επιτρέπουν τη δυνατότητα δωρεάν εγγραφής σε υπηρεσίες συνδρομής, καθώς και χρεώσεις ad hoc. Με αυτόν τον τρόπο, η χρηματοδότηση της ΕΕ έχει προωθήσει αποτελεσματικά τη διαλειτουργικότητα και την εφαρμογή των απαιτήσεων της Κοινοτικής οδηγίας στους συγχρηματοδοτούμενους σταθμούς φόρτισης.

Χρήση των σταθμών φόρτισης

Μία σημαντική έλλειψη στα κριτήρια χρηματοδότησης σταθμών φόρτισης είναι ότι η Επιτροπή δεν θέτει συγκεκριμένους στόχους επιδόσεων για τη συγχρηματοδοτούμενη υποδομή και δε συλλέγει ή αναλύει δεδομένα απόδοσης μόλις ο σταθμός φόρτισης τεθεί σε λειτουργία. Στον ακόλουθο πίνακα απεικονίζονται μέσες μηνιαίες φορτίσεις (πλήθος και διάρκεια) από συγχρηματοδοτούμενους σταθμούς φόρτισης:

Type	Number of sessions	Duration per session (minutes)
Ultra-fast stations	77	28
Fast stations	31	70
Normal stations	5	123

Πίνακας 2.3. – Μέσος όρος μηνιαίων φορτίσεων σε συγχρηματοδοτούμενους σταθμούς φόρτισης (για ολοκληρωμένους σταθμούς έως τον Ιούνιο του 2020).

Όπως φαίνεται παραπάνω, τα τρέχοντα δεδομένα χρήσης ανά σταθμό είναι κάτω από τις προσδοκίες με βάση τις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι χρηματοδοτήσεις. Αν και η αγορά των ηλεκτρικών αυτοκινήτων βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο και αναμένεται να αναπτυχθεί σημαντικά τα επόμενα χρόνια, τα τρέχοντα χαμηλά επίπεδα χρήσης αυξάνουν τους κινδύνους βιωσιμότητας που σχετίζονται με αυτές τις επενδύσεις και τον προϋπολογισμό της ΕΕ που έχει διατεθεί σε αυτά.

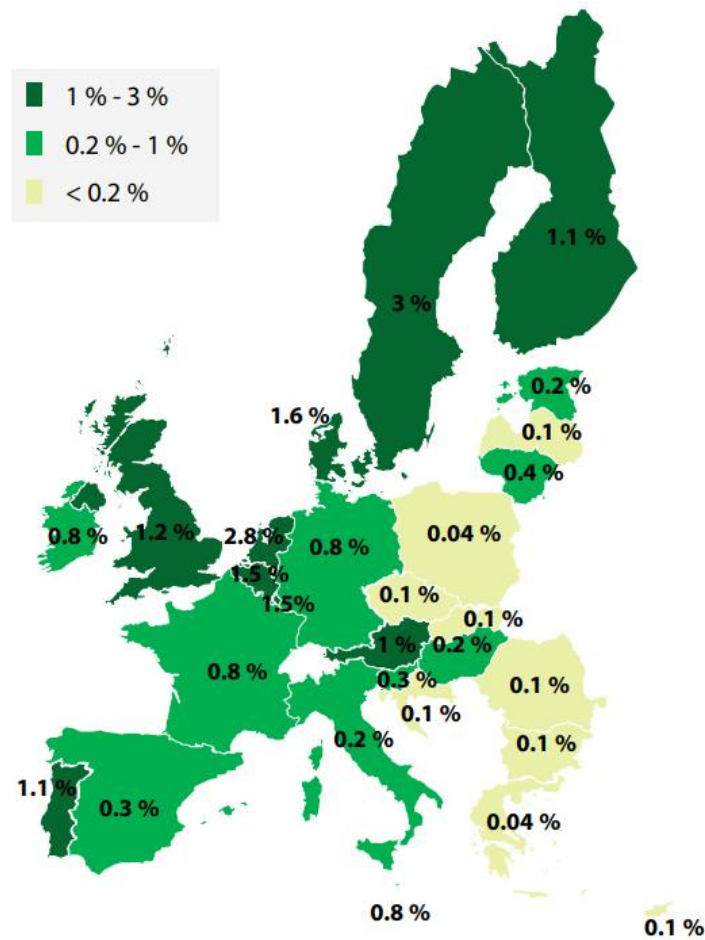
Συμπεράσματα – Προτάσεις για βελτίωση των υποδομών φόρτισης

Συμπερασματικά, παρά τις επιτυχίες όπως η προώθηση ενός κοινού προτύπου βύσματος φόρτισης της ΕΕ και η βελτίωση της πρόσβασης σε διαφορετικά δίκτυα φόρτισης, παραμένουν εμπόδια για να ταξιδέψει κάποιος κατά μήκος των Ευρωπαϊκών οδικών δικτύων με ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Η διαθεσιμότητα των σταθμών φόρτισης ποικίλλει μεταξύ των κρατών - μελών, τα συστήματα πληρωμών δεν είναι εναρμονισμένα και δεν υπάρχει μία ενιαία βάση δεδομένων με επαρκείς πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για τους χρήστες.

Επιπρόσθετα, δεν υπάρχουν σαφείς ελάχιστες απαιτήσεις υποδομής για την εξασφάλιση μίας ομαλής ηλεκτροκίνησης σε όλη την ΕΕ. Ως αποτέλεσμα, η κάλυψη του δικτύου είναι κατακερματισμένη και παρουσιάζει ουσιαστικά προβλήματα. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή είναι επιφορτισμένη στο να στηρίζει τα κράτη - μέλη και να διασφαλίζει τη συνοχή και τη συνέπεια μεταξύ των διαφορετικών εθνικών πλαισίων πολιτικής σε επίπεδο ΕΕ. Ωστόσο, παρά τις αυξημένες υποχρεώσεις προς τα κράτη – μέλη, έχει περιορισμένες εξουσίες. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή κατέληξε επίσημα στο συμπέρασμα ότι τα εθνικά πλαίσια πολιτικής διαφέρουν σημαντικά ως προς την πληρότητα, τη φιλοδοξία και τη συνοχή τους.

Προτεινόμενες ενέργειες για την αποτελεσματική ανάπτυξη του δικτύου σταθμών φόρτισης σε πανευρωπαϊκό επίπεδο:

- Θεσμοθέτηση ελαχίστων απαιτήσεων υποδομής ηλεκτρικής φόρτισης στο Διευρωπαϊκό Δίκτυο Μεταφορών.
- Προετοιμασία στρατηγικού και ολοκληρωμένου χάρτη πορείας της ΕΕ για την ηλεκτροκίνηση.
- Ανάπτυξη αναλύσεων υποδομής φόρτισης και κενών χρηματοδότησης.
- Χρησιμοποίηση των αναλύσεων και αυστηρά καθορισμένων κριτηρίων στην επιλογή των έργων προς χρηματοδότηση.
- Συμπερίληψη ρητρών στις συμφωνίες επιχορήγησης έργων για τη διασφάλιση βιώσιμης και δίκαιης πρόσβασης σε συγχρηματοδοτούμενες υποδομές.



Εικόνα 2.11. – Ποσοστά ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων επί των συνολικών στόλων αυτοκινήτων ανά χώρα (ΕΕ και Ηνωμένο Βασίλειο) – Στοιχεία Σεπτεμβρίου 2020.

2.4. Σταθμοί Ηλεκτρικής Φόρτισης στο Ελληνικό Οδικό Δίκτυο

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενες παραγράφους, η Ελλάδα βρίσκεται στις τελευταίες θέσεις της ΕΕ όσον αφορά το πλήθος των ηλεκτρικών οχημάτων που κυκλοφορούν στους δρόμους, καθώς και το πλήθος των εγκατεστημένων σταθμών φόρτισης κατά μήκος του εθνικού οδικού δικτύου.

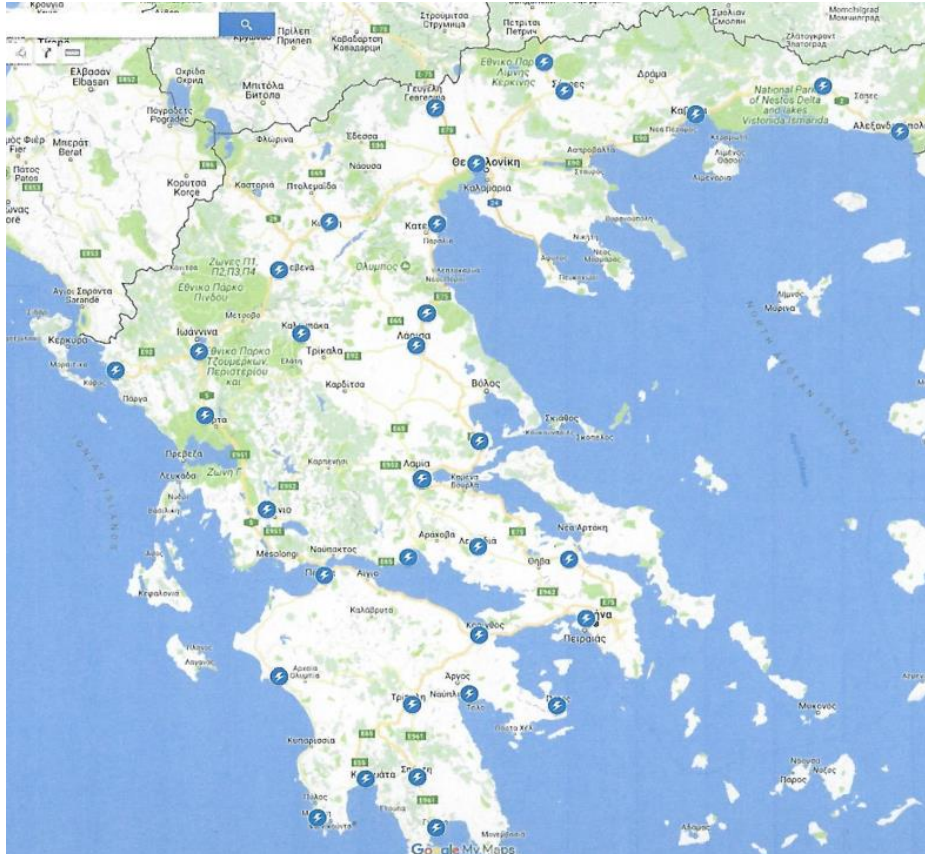
Για την ανάπτυξη του δικτύου υποδομών φόρτισης στο εθνικό δίκτυο, το Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων έχει συντάξει σχετική μελέτη – πρόταση, λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα κυκλοφορίας καθώς και τις μελλοντικές τάσεις για τους βασικούς οδικούς άξονες της Ελλάδας.

Για την εκπόνηση της μελέτης λήφθηκαν υπόψη οι τάσεις της τεχνολογικής εξέλιξης, σε βραχυπρόθεσμη και μεσοπρόθεσμη βάση, σε ό,τι αφορά την αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων που θα διατεθούν την επόμενη πενταετία στην αγορά προκειμένου να διαπιστωθεί η ενδεδειγμένη ανά οδικό τμήμα και κατεύθυνση μέγιστη αποδεκτή απόσταση μεταξύ των σταθμών ταχείας φόρτισης. Με βάση τα συλλεγμένα στοιχεία ορίστηκε ως μέγιστη αποδεκτή απόσταση μεταξύ των σημείων ταχείας φόρτισης η απόσταση των 125 χιλιομέτρων. Παρά το ότι η αυτονομία των υπό εξέλιξη ηλεκτρικών οχημάτων έχει αποκτήσει τουλάχιστον τη διπλάσια τιμή, εν τούτοις για τη δημιουργία αισθήματος ασφάλειας και την αποφυγή μεμονωμένων περιστατικών αδυναμίας έγκαιρης επαναφόρτισης, διεθνώς πλέον, έχει γίνει αποδεκτή η κατανομή των σημείων φόρτισης με βάση τη μέγιστη απόσταση των 125 χιλιομέτρων.

Για τη βέλτιστη κατανομή των σημείων ταχείας φόρτισης στον ηπειρωτικό εθνικό χώρο και την ικανοποίηση, κατά το δυνατό, των αναγκών που προκύπτουν από το γεγονός ότι η Ελλάδα είναι τουριστική χώρα με σημαντικά πολιτισμικά μνημεία που αποτελούν πόλους έλξης, τόσο για τους επισκέπτες της όσο βέβαια και για τους Έλληνες πολίτες, έγινε επιλογή 14 οδικών αξόνων που ικανοποιούν τα σχετικά κριτήρια, συνδέοντας τα σημεία εισόδου της χώρας με τις σημαντικότερες περιοχές τουριστικού ενδιαφέροντος και φυσικού κάλλους χωρίς βεβαίως να παραμεληθούν οι κύριοι άξονες κυκλοφορίας μεταξύ των κέντρων επιχειρηματικού και οικονομικού ενδιαφέροντος. Οι 14 αυτές διαδρομές συνολικού μήκους 3100 χιλιομέτρων αξιολογήθηκαν τόσο από πλευράς ποιότητας της οδικής τους σύνδεσης όσο και από πλευράς υποδομών και δικτύων έτσι ώστε εξασφαλίζεται το μικρότερο δυνατό κόστος εγκατάστασης. Με τα κριτήρια αυτά προσδιορίστηκαν, σε πρώτη φάση, τα πιθανά σημεία εγκατάστασης των συσκευών ταχείας φόρτισης τα οποία και προσδιορίζονται με τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες.

Η επιλογή των σημείων στα οποία προβλέπεται να εγκατασταθούν 18 φορτιστές υπερταχείας φόρτισης των 150kW έγινε με κριτήρια τη γειτνίαση με τις μεγάλες πόλεις ή με τις εισόδους της χώρας και τέλος της θέσης τους επί μεγάλων οδικών αρτηριών. Στα σημεία αυτά προβλέπεται να σημειωθεί στο μέλλον αυξημένη κίνηση σύγχρονων ηλεκτρικών αυτοκινήτων τα οποία θα είναι σε θέση να αξιοποιήσουν τις δυνατότητες

αυτών των υπερταχείας φόρτισης συσκευών. Για τον λόγο αυτόν άλλωστε συνιστάται να υπάρξει πρόβλεψη μελλοντικής αναβάθμισης των φορτιστών αυτών στο επίπεδο ισχύος των 350kW.



Εικόνα 2.12. – Χάρτης των προτεινομένων σημείων εγκατάστασης φορτιστών υπερταχείας και ταχείας φόρτισης Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων στο οδικό δίκτυο της Ηπειρωτικής Ελλάδας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΑΧΥΦΟΡΤΙΣΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ					
ΟΔΙΚΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ	ΧΛΜ	150 kW	50kW	ΘΕΣΕΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ 150 kW	ΘΕΣΕΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ 50 kW
Λαμία - Πάτρα	180	0	1		Γαλαξίδι
Ηγουμενίτσα - Πάτρα	289	0	4		Φιλιππιάδα 2, Αγρίνιο 2
Σχηματάρι - Γαλαξίδι	147	0	2		Λειβαδιά 2
Αθήνα - Θεσσαλονίκη	503	8	10	Σχηματάρι 2, Λαμία 2, Αλμυρός 2, Λάρισα 2	Σχηματάρι 2, Λαμία 2, Αλμυρός 2, Λάρισα 2, Κορινός 2
Ιωάννινα - Λάρισα	250	0	4		Τρίκαλα 2, Λάρισα (1) 2
Θεσσαλονίκη - Ηγουμενίτσα	346	4	8	Ιωάννινα 2, Ηγουμενίτσα 2	Κόμβος Κοζάνης 2, Γρεβενά 2, Ιωάννινα 2, Ηγουμενίτσα 2
Πάτρα - Μεθώνη	229	0	3		Πύργος 2, Μεθώνη 1
Τρίπολη - Γύθειο - Αρεόπολη	128	0	3		Σπάρτη 2, Γύθειο 1
Κόρινθος - Τρίπολη - Καλαμάτα	152	0	4		Τρίπολη 2, Καλαμάτα 2
Κόρινθος - Ναύπλιο - Γαλατάς	128	0	3		Ναύπλιο 2, Γαλατάς 1
Θεσσαλονίκη - Εύζωνοι	84	0	2		Πολύκαстро 2
Θεσσαλονίκη - Κουλάτα	135	0	2		Χαροπό 2
Θεσσαλονίκη - Κήποι	345	2	10	Θεσσαλονίκη 2	Θεσσαλονίκη 2, Σέρρες 2, Καβάλα 2, Κομοτηνή 2, Αλεξανδρούπολη 2
Αθήνα - Πάτρα	200	4	6	Αθήνα 2, Πάτρα 2	Αθήνα 2, Κόρινθος 2, Πάτρα 2
ΣΥΝΟΛΑ	3116	18	62		

Πίνακας 2.4. – Συγκεντρωτικός πίνακας προτεινόμενων σταθμών φόρτισης σε 14 βασικούς οδικούς άξονες της Ηπειρωτικής Ελλάδας (Μελέτη από το Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων).

Ακολουθούν οι προτεινόμενες τοποθεσίες ενδεικτικά σε 4 επιλεγμένους βασικούς οδικούς άξονες της Ελλάδας. Το κριτήριο επιλογής των συγκεκριμένων διαδρομών είναι ο μεγάλος ετήσιος όγκος διέλευσης οχημάτων, γεγονός το οποίο μεταφράζεται σε αυξημένο αριθμό πελατών σε σταθμούς ηλεκτρικής φόρτισης.



ΟΔΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ ΑΘΗΝΑΣ - ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΘΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Τοποθεσία	Γεωγραφικές Συντεταγμένες	Απόσταση από αφετηρία χλμ.	Ποσότης Ταχυφορτιστών 150 kW	Ποσότης Ταχυφορτιστών 50 kW
Σχηματάρι	38 22 02 23 32 14	69	2	2
Λαμία	38 50 51 22 28 18	208	2	2
Αλμυρός	39 03 49 22 53 19	270	2	2
Λάρισα	39 48 52 22 30 30	374	2	2
Κορινός	40 19 45 22 34 53	443		2
Σύνολο			8	10

Μελέτη διανομής ταχυφορτιστών ηλεκτρικών αυτοκινήτων για τη δημιουργία εθνικού δικτύου υποστήριξης της ηλεκτροκίνησης



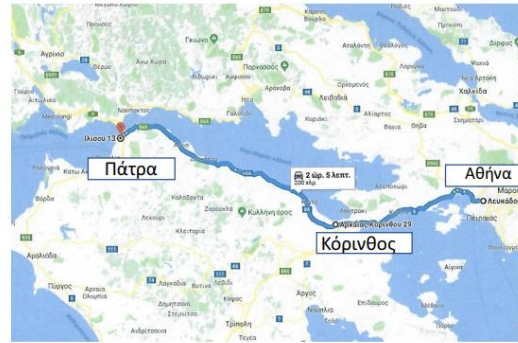
Εικόνα 2.13. – Προτεινόμενοι σταθμοί ηλεκτρικής φόρτισης κατά μήκος του οδικού άξονα Αθήνα – Θεσσαλονίκη (πηγή - Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων).



ΟΔΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ ΑΘΗΝΑΣ - ΠΑΤΡΑΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΘΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Τοποθεσία	Γεωγραφικές Συντεταγμένες	Απόσταση από αφετηρία χλμ.	Ποσότης Ταχυφορτιστών 150 kW	Ποσότης Ταχυφορτιστών 50 kW
Αθήνα	38 00 46 23 39 20	0	2	2
Κόρινθος	37 55 08 22 53 03	72		2
Πάτρα	38 16 39 21 45 51	200	2	2
Σύνολο			4	6



Μελέτη διανομής ταχυφορτιστών ηλεκτρικών αυτοκινήτων για τη δημιουργία εθνικού δικτύου υποστήριξης της ηλεκτροκίνησης

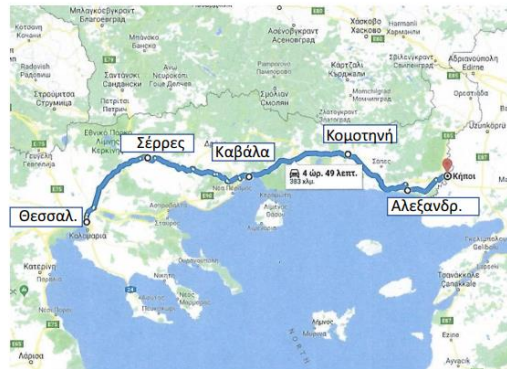
Εικόνα 2.14. – Προτεινόμενοι σταθμοί ηλεκτρικής φόρτισης κατά μήκος του οδικού άξονα Αθήνα – Πάτρα (πηγή - Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων).



ΟΔΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ - ΚΗΠΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΘΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Τοποθεσία	Γεωγραφικές Συντεταγμένες	Απόσταση από αφετηρία χλμ.	Ποσότης Ταχυφορτιστών 150 kW	Ποσότης Ταχυφορτιστών 50 kW
Θεσσαλονίκη	40 40 43 22 52 20	0	2	2
Σέρρες	41 05 32 23 30 40	84		2
Καβάλα	40 57 22 24 27 36	189		2
Κομοτηνή	41 06 51 25 22 44	275		2
Αλεξανδρούπολη	40 51 21 25 56 01	345		2
Σύνολο			2	10



Μελέτη διανομής ταχυφορτιστών ηλεκτρικών αυτοκινήτων για τη δημιουργία εθνικού δικτύου υποστήριξης της ηλεκτροκίνησης

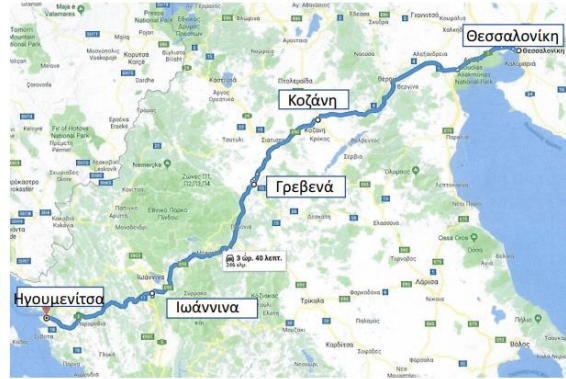
Εικόνα 2.15. – Προτεινόμενοι σταθμοί ηλεκτρικής φόρτισης κατά μήκος του οδικού άξονα Θεσσαλονίκη – Κήποι (πηγή - Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων).



ΟΔΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ – ΗΓΟΥΜΕΝΙΤΣΑΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΘΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Τοποθεσία	Γεωγραφικές Συντεταγμένες	Απόσταση από αφετηρία χλμ.	Ποσότης Ταχυφορτιστών 150 kW	Ποσότης Ταχυφορτιστών 50 kW
Θεσσαλονίκη	40 40 43 22 52 20	0	Βλέπε Θεσσαλονίκη - Κήπους	Βλέπε Θεσσαλονίκη - Κήπους
Κόμβος Κοζάνης	40 20 44 21 48 18	119		2
Γρεβενά	40 03 58 21 26 23	172		2
Ιωάννινα	39 35 36 20 51 43	274	2	2
Ηγουμενίτσα	39 29 14 20 15 44	346	2	2
Σύνολο			4	8



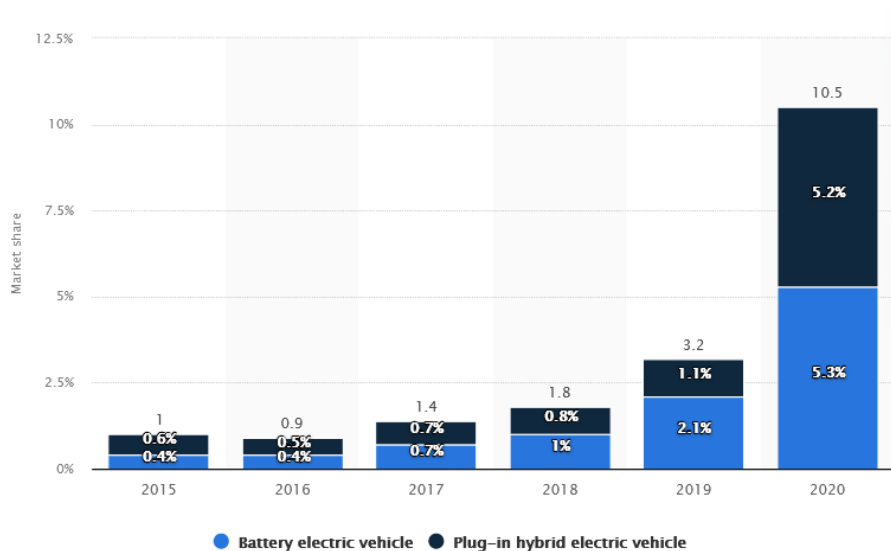
Μελέτη διανομής ταχυφορτιστών ηλεκτρικών αυτοκινήτων για τη δημιουργία εθνικού δικτύου υποστήριξης της ηλεκτροκίνησης

Εικόνα 2.16. – Προτεινόμενοι σταθμοί ηλεκτρικής φόρτισης κατά μήκος του οδικού άξονα Θεσσαλονίκη - Ηγουμενίτσα (πηγή - Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων).

3. Ηλεκτρικά Οχήματα – Θέση στην Αγορά, Επιχειρηματικά Μοντέλα & Μελλοντικές Τάσεις

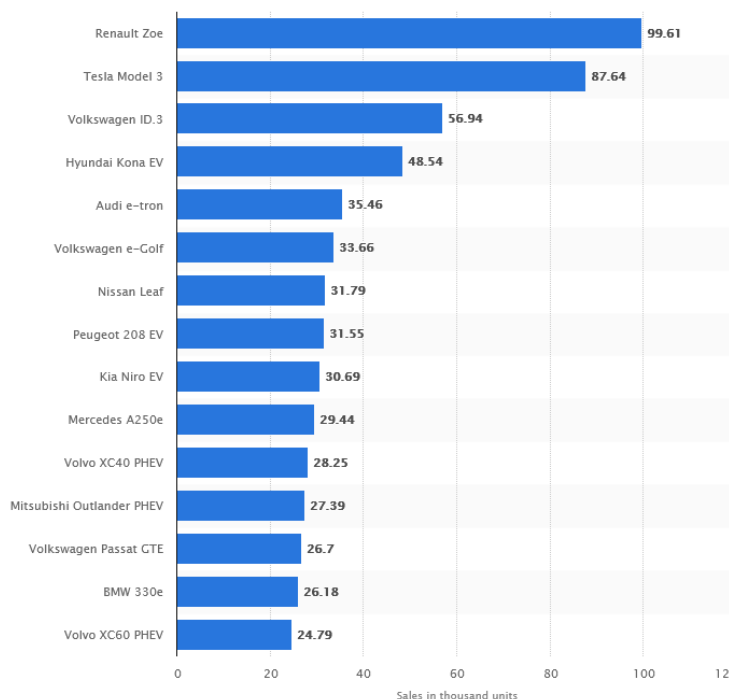
Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, το μερίδιο των ταξινομήσεων νέων ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων κορυφώθηκε στο 5,3 % το 2020. Παράλληλα, οι ταξινομήσεις υβριδικών οχημάτων σημείωσαν σταθερή αύξηση μεταξύ 2015 και 2019, για να φτάσουν στο 5,2 % των συνολικών οχημάτων το 2020. Οι πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων στην ΕΕ έφτασαν σχεδόν τις 590.000 μονάδες το 2019 και ξεπέρασαν το ένα εκατομμύριο μονάδες το 2020.

Η αύξηση στις πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων συμβαδίζει με τις προσπάθειες των Ευρωπαϊκών χωρών να βελτιώσουν τις υποδομές φόρτισης αυξάνοντας τον αριθμό των διαθέσιμων σταθμών φόρτισης. Ο αριθμός των σταθμών φόρτισης στην Ευρώπη και την Τουρκία αυξήθηκε κατά 35% μεταξύ 2019 και 2020. Σχεδόν 286.000 σταθμοί φόρτισης ήταν διαθέσιμοι σε όλη την Ευρώπη 2020.



Εικόνα 3.1. – Συνολικό μερίδιο αγοράς νεοεγγεγραμμένων επιβατικών ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση μεταξύ 2015 και 2020 – Πηγή [statista.com](https://www.statista.com)

Το Zoe της Renault ήταν το ηλεκτρικό αυτοκίνητο με τις περισσότερες πωλήσεις στην Ευρώπη το 2020, ξεπερνώντας το Tesla Model 3 στη δεύτερη θέση. Το ID.3 της Volkswagen ολοκληρώνει την τριάδα των πρώτων σε πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ευρωπαϊκή αγορά για το 2020. Οι ευρωπαϊκές αυτοκινητοβιομηχανίες φαίνεται να επενδύουν ολοένα και περισσότερο σε αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα, με τους μεγαλύτερους κατασκευαστές να έχουν ήδη ανακοινώσει χρονιές – στόχους κατά τις οποίες θα έχουν πετύχει εξηλεκτρισμό του συνόλου των στόλων τους. Οι ευρωπαϊκές μάρκες αντιμετωπίζουν σκληρό ανταγωνισμό από την Tesla, ενώ αρκετές κινεζικές αυτοκινητοβιομηχανίες με ιδιαίτερα ανταγωνιστικές τιμές αναμένεται να εισέλθουν στην ευρωπαϊκή αγορά μέσα στο 2021.



Εικόνα 3.2. – Πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων ανά μοντέλο στην Ευρωπαϊκή αγορά το 2020 (σε χιλιάδες μονάδες) - Πηγή [statista.com](https://www.statista.com)

Η Γερμανία είναι η κορυφαία ευρωπαϊκή αγορά πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων, ενώ η Νορβηγία έχει το μεγαλύτερο μερίδιο καταχωρήσεων ηλεκτρικών οχημάτων μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών. Η Νορβηγία έχει πληθυσμό περίπου 5,4 εκατομμύρια ανθρώπους, με το εντυπωσιακό στατιστικό κάθε δεύτερο νέο αυτοκίνητο που ταξινομείται στη Νορβηγία να είναι ηλεκτρικό όχημα με μπαταρίες. Σε παγκόσμιο

επίπεδο, η Ευρώπη είναι ο μεγαλύτερος κινητήριος μοχλός ανάπτυξης στο μερίδιο αγοράς των ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων. Τα υβριδικά οχήματα ήταν τα πιο δημοφιλή σε πωλήσεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση τον Νοέμβριο του 2020. Μέχρι το 2030, η ζήτηση ενέργειας για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να είναι μεταξύ 130 και 195 terawatt ώρες στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

3.1. Η προσέγγιση των καταναλωτών στην ηλεκτροκίνηση

Όταν εισάγεται μία καινοτόμα εφεύρεση στην αγορά, οι εταιρείες που επενδύουν σε αυτήν συχνά εκπλήσσονται όταν μαθαίνουν ότι πολλοί καταναλωτές δεν ενδιαφέρονται για την εφεύρεσή τους. Η σκληρή πραγματικότητα είναι ότι περίπου το 60% των νέων προϊόντων στην αγορά δεν πωλούνται πλέον εντός τριών ετών ^[47]. Οι ειδικοί στον χώρο του marketing υποστηρίζουν ότι οι εφευρέτες δεν επικεντρώνονται αρκετά στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι πελάτες αξιολογούν τα προϊόντα και λαμβάνουν αποφάσεις αγοράς ^[48].

Τα σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα είναι μια εφεύρεση η οποία κερδίζει δυναμική στην παγκόσμια αγορά, αλλά όχι με τον ρυθμό που οι πολιτικοί επιθυμούν να αντιμετωπίσουν επείγοντα κοινωνικά προβλήματα όπως είναι η κακή ποιότητα του αστικού αέρα, η παγκόσμια κλιματική αλλαγή και η ενεργειακή ανασφάλεια. Το ποσοστό διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων στην παγκόσμια αγορά αυξήθηκε από σχεδόν 0% το 2010 σε περίπου 4,6% το 2020 ^[49].

Το 2015, μια επιτροπή εμπειρογνομόνων του Εθνικού Συμβουλίου Έρευνας των ΗΠΑ εντόπισε τα πιθανά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων από την πλευρά του καταναλωτή ^[50]. Αυτοί οι παράγοντες δεν είναι κοινωνικοί προβληματισμοί (ρύπανση, κλιματική αλλαγή και ενεργειακή ανασφάλεια), καθώς οι περισσότεροι καταναλωτές αξιολογούν τα ηλεκτρικά οχήματα με βάση τις προσωπικές τους ανάγκες και όχι κοινωνικές ανησυχίες. Εξαιρεση αποτελεί η ομάδα των early adopters, η οποία μερικές φορές έχει κατά νου τον κοινωνικό συμβολισμό κατά την αγορά του οχήματός τους. Υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία σχετικά με τις αντιλήψεις και τα χαρακτηριστικά των early adopters των ηλεκτρικών οχημάτων σε διαφορετικές

χώρες. Οι early adopters είναι ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία ενός πρώτου θετικού feedback μίας καινούριας τεχνολογίας στην αγορά ενισχύοντας την εμπορική της πορεία. Όταν η εμπορική πορεία ενός ηλεκτρικού οχήματος προχωρήσει πέραν του σταδίου των early adopters, για να συνεχίσει επιτυχημένα στην καμπύλη της εμπορικής ωριμότητας, είναι απαραίτητο να ικανοποιεί με τον πιο αποδοτικό τρόπο τις πραγματικές ανάγκες μεταφοράς των καταναλωτών ώστε να μπορεί να ανταγωνιστεί τις ώριμες τεχνολογίες των συμβατικών οχημάτων εσωτερικής καύσης [51].

Κατά τη διαδικασία αγοράς ενός νέου οχήματος, κάθε καταναλωτής σταθμίζει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διαθέσιμων τεχνολογιών στην αγορά. Παρακάτω αναλύονται τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα, τα οποία πέραν από εξωγενείς παράγοντες (κυβερνητικά μέτρα, επιδοτήσεις κ.ά.) καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την τελική απόφαση του καταναλωτή.

3.1.1. Πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων έναντι των συμβατικών εσωτερικής καύσης

Γρηγορότερες Επιδόσεις

Η άμεση απόκριση του ηλεκτροκινητήρα σε ένα ηλεκτρικό όχημα δημιουργεί μια σημαντική διαφορά στην απόκριση του πεντάλ σε σύγκριση με ένα συμβατικό αυτοκίνητο για τους οδηγούς που αξιολογούν την επιτάχυνση κατά την αγορά ενός αυτοκινήτου. Ένας από τους λόγους που τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν διεισδύσει στην αγορά της κατηγορίας premium είναι ότι οι οδηγοί τέτοιων οχημάτων τείνουν να εκτιμούν τις γρήγορες επιδόσεις. Αυτός είναι και ο λόγος που τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι υποσχόμενα για τη μεγάλη αμερικανική αγορά φορτηγών, όπου η επιτάχυνση και η ικανότητα ρυμούλκησης είναι σημαντικοί παράγοντες στη λήψη απόφασης του καταναλωτή.

Χαμηλότερο κόστος καυσίμου

Το πιο απτό πλεονέκτημα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, όπου οι φόροι βενζίνης είναι σχετικά χαμηλοί, οι καταναλωτές πληρώνουν 2 έως 4 δολάρια για ένα γαλόνι βενζίνης (ανάλογα με την πολιτεία). Δεδομένου ότι οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας είναι αρκετά χαμηλές, το αντίστοιχο κόστος λειτουργίας ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι περίπου 60-70% μικρότερο από ένα βενζινοκίνητο όχημα. Κατά μέσο όρο στις ΗΠΑ ένας μέσος οδηγός μπορεί να περιμένει να εξοικονομήσει 500-1000 δολάρια ετησίως, υποθέτοντας ότι ο καταναλωτής μπορεί να έχει πρόσβαση σε χαμηλές τιμές ηλεκτρικού ρεύματος για κατοικίες (με την προϋπόθεση ύπαρξης οικιακού ηλεκτρικού φορτιστή) ^[52]. Η σύγκριση στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης είναι ακόμη καλύτερη για τους κατόχους ηλεκτρικών αυτοκινήτων, καθώς οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι πολύ υψηλότερες από τις ΗΠΑ, ενώ οι τιμές των καυσίμων (λόγω της μεγάλης φορολογίας) είναι δύο έως τρεις φορές υψηλότερες από τις τιμές των καυσίμων στις ΗΠΑ. Οι τιμές των καυσίμων της Κίνας είναι μία ενδιάμεση περίπτωση μεταξύ ΗΠΑ και Ευρώπης.

Χαμηλότερα κόστη επισκευών και συντήρησης

Ο σχεδιασμός των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι απλούστερος από ένα βενζινοκίνητο ή πετρελαιοκίνητο όχημα εξαιτίας των λιγότερων κινούμενων εξαρτημάτων που μπορούν να φθαρούν. Επίσης, κατά τη συντήρηση του οχήματος δεν χρειάζονται αλλαγές λαδιών ή επισκευές του συστήματος εξάτμισης. Στις ΗΠΑ, ένας καταναλωτής μπορεί να εξοικονομήσει κατά μέσο όρο 400 δολάρια ετησίως στη συντήρηση και την επισκευή σε σχέση με ένα συμβατικό όχημα, με την προϋπόθεση ότι η μπαταρία του ηλεκτρικού οχήματος λειτουργεί κανονικά και δεν χρήζει αντικατάστασης ^[53].

Πρακτικότητα στην καθημερινή χρήση

Οι οδηγοί ηλεκτρικών οχημάτων οι οποίοι διαθέτουν οικιακό φορτιστή, κατά βάσει φορτίζουν το όχημα στην οικία τους κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αντίστοιχα το ίδιο ισχύει και για χώρους εργασίας με εγκατεστημένους φορτιστές όπου οι οδηγοί εκμεταλλεύονται τον χρόνο εργασίας του για να φορτίσουν το αυτοκίνητο. Έτσι, αποφεύγουν την ταλαιπωρία να κάνουν ειδική διαδρομή σε πρατήρια καυσίμων

βενζίνης. Ακόμη και για τους οδηγούς που δεν διαθέτουν ηλεκτρικό φορτιστή στο σπίτι ή στον χώρο εργασίας, ένα άρτια αναπτυγμένο δίκτυο φορτιστών τους δίνει τη δυνατότητα να φορτίζουν τακτικά ενώ ασχολούνται παράλληλα με άλλες δραστηριότητες. Ωστόσο, εάν οι οδηγοί κάνουν εκτεταμένη χρήση της ηλεκτρικής φόρτισης κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής, τα φορτία στο δίκτυο θα αυξηθούν και μπορεί να απαιτηθεί μεγαλύτερη επάρκεια ισχύος. Η ενσωμάτωση των φορτιστών σε ένα smart grid είναι πιθανό μπορεί να ρυθμίσει την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας σε χαμηλότερη τιμή τις ώρες εκτός αιχμής, ενθαρρύνοντας έτσι τους οδηγούς να φορτίζουν κατά τις νυχτερινές ώρες. Έτσι, υπάρχει μία ισορροπία που πρέπει να διατηρείται μεταξύ της εύχρηστης φόρτισης για τους οδηγούς των ηλεκτρικών οχημάτων και της εξομάλυνσης της ζήτησης για τους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας.

Χαμηλότερα επίπεδα ηχορύπανσης

Κατά τη λειτουργία του οχήματος, ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο είναι πιο αθόρυβο από ένα βενζινοκίνητο ή πετρελαιοκίνητο ^[54]. Μια μελέτη σε επαγγελματίες οδηγούς ταξί έδειξε ότι η πιο ήσυχη οδηγική εμπειρία ενός ηλεκτρικού οχήματος συμβάλλει στη βελτίωση της ψυχικής υγείας λόγω του μειωμένου άγχους ^[55]. Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι τόσο αθόρυβα που οι αρμόδιες αρχές στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ έχουν ορίσει ελάχιστα επίπεδα στον εξωτερικό θόρυβο των οχημάτων για την προστασία της ασφάλειας των ανυποψίαστων πεζών (π.χ. τυφλών).

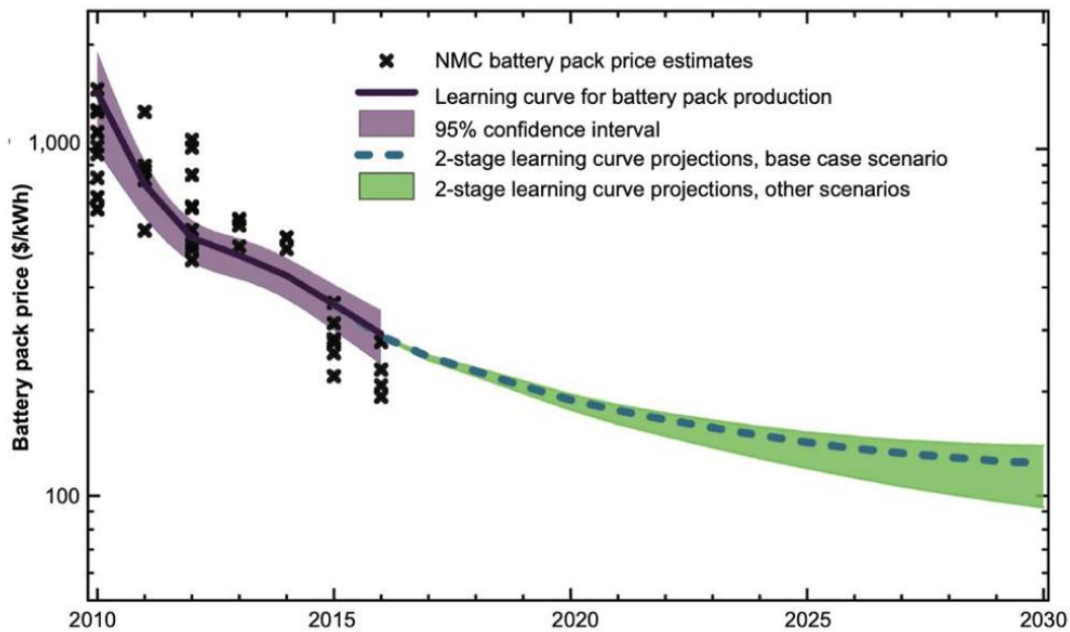
3.1.2. Μειονεκτήματα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων έναντι των συμβατικών εσωτερικής καύσης

Εάν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν είχαν μειονεκτήματα θα οδηγούμασταν σε έναν γρήγορο εξηλεκτρισμό της αυτοκίνησης. Ωστόσο, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν κάποια ουσιαστικά μειονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης, για τα οποία όμως γίνεται μεγάλη προσπάθεια από τη βιομηχανία για τον περιορισμό τους, κάτι που θα οδηγήσει σε περαιτέρω ωρίμανση και εμπορική επιτυχία της τεχνολογίας της ηλεκτροκίνησης.

Υψηλότερο κόστος αγοράς

Στην Ευρωπαϊκή και παγκόσμια αγορά, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι σημαντικά ακριβότερα συγκριτικά με συμβατικά οχήματα αντίστοιχης κατηγορίας. Το σημαντικά υψηλότερο κόστος κτήσης, σε συνδυασμό με τα μικρά ποσά επιδοτήσεων – ελαφρύνσεων που δίνονται στους καταναλωτές, τουλάχιστον στην Ελλάδα έως τώρα, αποθαρρύνουν μεγάλη μερίδα των καταναλωτών να προχωρήσουν σε αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου, αν συνυπολογίσει κανείς τα παρατεταμένα χρόνια οικονομικής κρίσης σε συνδυασμό τις μεγάλες αλλαγές που έφερε η πανδημία του Covid στην οικονομία.

Ο σημαντικότερος παράγοντας στην αύξηση του κόστους ενός ηλεκτρικού οχήματος είναι η μπαταρία ιόντων λιθίου, από την οποία το 70-90% του κόστους αντιστοιχεί στα στοιχεία της μπαταρίας. Το μέσο κόστος μίας μπαταρίας ιόντων λιθίου μειώθηκε κατά 80% από 1000 δολάρια ανά kWh το 2010 σε 200-300 δολάρια ανά kWh το 2018. Η πτώση των τιμών το 2019-2020 συνεχίστηκε, με τις χαμηλότερες τιμές στον κλάδο να φτάνουν κάτω από 150 δολάρια ανά kWh ^[56]. Ένας βασικός κανόνας στη βιομηχανία είναι ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μπορούν να καταστούν ανταγωνιστικά σε κόστος κατασκευής με τα οχήματα βενζίνης εάν οι τιμές της μπαταρίας πέσουν κάτω από τα 100 δολάρια ανά kWh ^[57]. Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζεται η προβλεπόμενη πτώση των τιμών των στοιχείων ιόντων λιθίου την επόμενη δεκαετία, την οποία ενισχύουν οι νέες χημικές συστάσεις μπαταριών με τη χρήση μικρότερων ποσοτήτων του ακριβού κοβαλτίου. Επίσης, το κόστος παραγωγής ηλεκτρικών κινητήρων, μετατροπέων και ηλεκτρονικών στοιχείων αναμένεται να μειωθεί σημαντικά έως το 2030 λόγω των οικονομικών κλίμακας που θα επιτευχθούν με τις μεγάλες ποσότητες προς παραγωγή.



Εικόνα 3.3. – Παρελθοντικές και προβλεπόμενες τιμές μπαταριών ιόντων λιθίου NMC [58].

Υπεραπλουστευμένες προβλέψεις δείχνουν ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μπορεί να είναι φθηνότερα από τα βενζινοκίνητα οχήματα μέσα σε λίγα χρόνια. Αυτές οι προβλέψεις αγνοούν ορισμένες αντισταθμιστικές τάσεις που θα βάλουν ένα όριο στην πτώση των τιμών των μπαταριών: αύξηση των τιμών των πρώτων υλών (που αντιπροσωπεύουν μεγαλύτερο μερίδιο του κόστους των στοιχείων των μπαταριών από ότι πριν από δέκα χρόνια), περιβαλλοντικοί κανονισμοί που επιβάλλονται σε εταιρείες εξόρυξης αυξάνοντας το κόστος, κανονισμοί που απαιτούν χρήση μικρότερων ποσοτήτων υλικών επιβλαβών προς το περιβάλλον στο σχεδιασμό των μπαταριών για καλύτερη διαχείριση αποβλήτων μπαταριών στο τέλος της ζωής τους (συμπεριλαμβανομένης και της ανακύκλωσής τους). Νέοι σχεδιασμοί μπαταριών μπορούν να αυξήσουν την αυτονομία οδήγησης μειώνοντας ταυτόχρονα τον χρόνο φόρτισης. Έμφαση δίνεται επίσης σε βελτιωμένα συστήματα ψύξης για περαιτέρω ενίσχυση της αξιοπιστίας λειτουργίας των μπαταριών, αυξάνοντας παράλληλα και την ασφάλεια λειτουργίας τους. Νέες τεχνολογίες μπαταριών (π.χ. μπαταρίες στερεάς κατάστασης) είναι υποσχόμενες επίσης για εφαρμογές ηλεκτρικών αυτοκινήτων, αλλά απίθανο να έχουν σημαντική διείσδυση στην αγορά πριν το 2030. Με βάση τα παραπάνω, είναι εμφανές ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα έχουν μεγαλύτερο κόστος παραγωγής από τα εσωτερικής καύσης για το άμεσο μέλλον. Το κόστος είναι ακόμα

μεγαλύτερο για τα οχήματα SUV, καθώς απαιτούν μεγάλα σύνολα μπαταριών, εξαιτίας του αυξημένου βάρους τους και της υποδεέστερης αεροδυναμικής σε σύγκριση με άλλους τύπους οχημάτων. Τα οχήματα SUV είναι ο δημοφιλέστερος τύπος οχημάτων τα τελευταία χρόνια στην παγκόσμια αγορά, έχοντας εκτοπίσει οχήματα τύπου sedan και λοιπών κατηγοριών.

Περιορισμένη αυτονομία οδήγησης

Γιατί τα ηλεκτρικά οχήματα με αυτονομία μικρότερη από 150 χιλιόμετρα δεν ήταν επιτυχημένα εμπορικά; Ο μέσος αριθμός χιλιομέτρων ταξιδιού ημερησίως ποικίλλει από χώρα σε χώρα, αλλά όλοι οι μέσοι όροι είναι πολύ κάτω από τα 150 χιλιόμετρα την ημέρα (Ιαπωνία 20 χιλιόμετρα, Γερμανία 35 χιλιόμετρα, ΗΠΑ 40 χιλιόμετρα και Κίνα 45 χιλιόμετρα) ^[59]. Ο λόγος είναι ότι οι καταναλωτές αγοράζουν αυτοκίνητα με βάση τις δυνητικές μέγιστες ανάγκες τους και όχι το μέσον όρο των καθημερινών τους μετακινήσεων ^[60]. Οι ακραίες πιθανές ανάγκες παίζουν σημαντικό ρόλο στην τελική απόφαση του καταναλωτή, παρά το γεγονός ότι στατιστικά δεν προκύπτουν συχνά στη διάρκεια της καθημερινότητας.

Κατά μέσον όρο οι οδηγοί επιθυμούν να αγοράζουν οχήματα τα οποία μπορούν να κάνουν μακρινά ταξίδια τις ημέρες των διακοπών – αργιών. Στην Ευρώπη, όπου η υπεραστική υπηρεσία τρένων διαθέτει ένα εξαιρετικά αναπτυγμένο δίκτυο, πολλά νοικοκυριά κατέχουν (ή νοικιάζουν) ιδιωτικό όχημα για να οδηγήσουν από τη βόρεια Ευρώπη για παρατεταμένες διακοπές στην Ισπανία, τη νότια Γαλλία, την Ιταλία και την Ελλάδα. Επιπλέον, η εμπορική προώθηση των ηλεκτρικών οχημάτων σε ψυχρά κλίματα όπως της βόρειας Ευρώπης είναι ιδιαίτερα δύσκολη, καθώς οι χαμηλές θερμοκρασίες μειώνουν τη χωρητικότητα των μπαταριών και κατ'επέκταση την οδηγική αυτονομία τους.

Σε νοικοκυριά με περισσότερα από ένα όχημα, ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο σχετικά μικρής αυτονομίας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τοπικές μετακινήσεις, ενώ ένα δεύτερο όχημα, είτε υβριδικό είτε εσωτερικής καύσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ταξίδια μεγάλων αποστάσεων. Για νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα που μπορούν να αντέξουν οικονομικά μόνο ένα όχημα, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μικρής εμβέλειας δεν

είναι ελκυστικά. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες αναγνωρίζουν πλέον ότι η μαζική εμπορευματοποίηση των ηλεκτρικών οχημάτων δεν θα πραγματοποιηθεί χωρίς μεγαλύτερη αυτονομία οδήγησης. Τα πιο πρόσφατα μοντέλα ηλεκτρικών οχημάτων προσφέρουν μεγαλύτερη αυτονομία οδήγησης.

Πόσο μεγάλη πρέπει να είναι η αυτονομία οδήγησης ώστε να ικανοποιήσει τους καταναλωτές; Μοντέλα όπως το Nissan Leaf και Chevrolet Volt δεν έχουν διαγράψει ιδιαίτερα επιτυχημένη εμπορική πορεία με βάση τις προσδοκίες των κατασκευαστών τους. Το ηλεκτρικό όχημα με τις καλύτερες πωλήσεις στον κόσμο είναι το Tesla Model 3, το οποίο έχει αυτονομία 425 χιλιόμετρα - βασική έκδοση ή 570 χιλιόμετρα - έκδοση long range (δεδομένα από μοντέλα του 2021). Επίσης, οι κάτοχοι Tesla μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ιδιόκτητο δίκτυο φόρτισης – Tesla Supercharges – το οποίο είναι διαρκώς αναπτυσσόμενο και περιορίζει ορισμένα από τα μειονεκτήματα της περιορισμένης αυτονομίας οδήγησης. Ωστόσο, έως σήμερα, η τιμολογιακή πολιτική της Tesla είναι αρκετά υψηλή ώστε να πετύχει εμπορική διείσδυση σε πιο οικονομικές κατηγορίες, κάτι το οποίο επιθυμεί να αλλάξει με το πιο οικονομικό της μοντέλο, το Tesla Model 2, το οποίο θα κινείται στα κοστολογικά επίπεδα ενός συμβατικού Volkswagen Golf και αναμένεται να λανσαριστεί μέσα στο 2022.

Μεγάλοι χρόνοι φόρτισης

Τα τρία επίπεδα διαθέσιμης φόρτισης μπορούν να επιτύχουν πλήρη φόρτιση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε 12-18 ώρες (Επίπεδο 1, χωρίς κόστος), 3-6 ώρες (Επίπεδο 2, 1500-2000 δολάρια για οικιακό σύστημα) και 80% φόρτιση σε 30 λεπτά (Επίπεδο 3, 40.000 δολάρια για εμπορικό σύστημα). Η δυνατότητα για εξαιρετικά γρήγορη φόρτιση αυξάνει το κόστος παραγωγής των στοιχείων της μπαταρίας και δημιουργεί κινδύνους επιταχυνόμενης υποβάθμισής της, φαινόμενο που μειώνει την αυτονομία οδήγησης. Καμία από αυτές τις επιλογές δεν ανταγωνίζεται τα 3 έως 7 λεπτά που χρειάζονται για τον ανεφοδιασμό των περισσότερων δεξαμενών βενζίνης. Αυτό είναι ένα από τα πιο σημαντικά μειονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων. Στελέχη της General Motors έχουν δηλώσει ότι θα χρειαστεί η διάδοση εξαιρετικά γρήγορης φόρτισης για να επιτευχθεί μαζική διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στην παγκόσμια αγορά ^[61].

Ένας σταθμός φόρτισης επιπέδου 2 μπορεί να αρκεί για έναν οδηγό που μπορεί να φορτίζει καθημερινά στο σπίτι ή στη δουλειά. Η εξάρτηση από δημόσιους σταθμούς φόρτισης έχει μειονεκτήματα. Η φόρτιση σε εξωτερικό χώρο κατά μήκος του οδικού δικτύου εκθέτει τους οδηγούς σε εξωγενείς παράγοντες: χαμηλές θερμοκρασίες, βροχοπτώσεις και ακραία καιρικά φαινόμενα. Η εξάρτηση από δημόσιους σταθμούς φόρτισης εκθέτει επίσης τους οδηγούς σε αυξημένες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας και σε πιθανές γραμμές αναμονής κατά τις ώρες μεγάλης ζήτησης.

Η Κίνα εξετάζει την εφαρμογή σταθμών ανταλλαγής μπαταριών παράλληλα με τους δημόσιους σταθμούς φόρτισης ώστε να εξοικονομείται χρόνος για τους οδηγούς [62]. Στα τέλη του 2020, η Κίνα είχε 555 σταθμούς ανταλλαγής μπαταριών σε λειτουργία, 81% περισσότερους από το 2019. Τόσο οι καθιερωμένες όσο και οι νεοσύστατες κινεζικές εταιρείες σχεδιάζουν να συνεργαστούν με την κυβέρνηση σε ένα πιλοτικό πρόγραμμα ανταλλαγής μπαταριών μεγάλης κλίμακας. Ωστόσο, τα εμπόδια στην ευρεία εφαρμογή σταθμών ανταλλαγής μπαταριών είναι σημαντικά. Δεν υπάρχει τυποποίηση στον σχεδιασμό και τη θέση των μπαταριών στα οχήματα. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες και οι προμηθευτές τους αντιστέκονται στην τυποποίηση, καθώς αναζητούν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα με καινοτομία στον σχεδιασμό και τη θέση της μπαταρίας στο ηλεκτρικό όχημα. Ενδεικτικά, μία εταιρεία startup με αντικείμενο το battery swapping σε ηλεκτρικά οχήματα, η Better Place, χρεοκόπησε, λόγω της αδυναμίας συμμετοχής από αυτοκινητοβιομηχανίες και καταναλωτές σε μία τυποποιημένη πλατφόρμα ανταλλαγής μπαταριών. Επιπρόσθετα, το σταθερό κόστος ενός σταθμού ανταλλαγής μπαταριών είναι σημαντικό καθώς απαιτείται χώρος για μεγάλο απόθεμα μπαταριών και εξειδικευμένος εξοπλισμός για τον χειρισμό, τη φόρτιση και την επισκευή των μπαταριών. Η Κίνα μπορεί να έχει μεγαλύτερη επιτυχία με την ανταλλαγή μπαταριών για αστικά οχήματα και στόλους ταξί παρά με πελάτες λιανικής.

Διάρκεια ζωής της μπαταρίας

Η μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με το πλεονέκτημα κόστους επισκευής – συντήρησης των ηλεκτρικών οχημάτων είναι το υψηλό κόστος βλάβης και αντικατάστασης της μπαταρίας. Η συχνότητα βλαβών των μπαταριών είναι άγνωστη καθώς λίγα ηλεκτρικά

οχήματα έχουν χρησιμοποιηθεί για περισσότερο από μια δεκαετία. Κατά τη δεύτερη δεκαετία ζωής ενός ηλεκτρικού οχήματος είναι πιθανότερη η εμφάνιση βλάβης της μπαταρίας. Η αντικατάσταση της μπαταρίας είναι ακριβή. Η αντικατάσταση της μπαταρίας σε ένα Nissan Leaf κοστίζει περίπου 5.500 δολάρια συν το κόστος εγκατάστασης (μοντέλα 2011–2014). Η μπαταρία ενός Chevrolet Bolt κοστίζει περίπου 15.800 δολάρια για αντικατάσταση. Το Tesla Model 3 διαθέτει δεκαέξι ξεχωριστά modules μπαταρίας. Η αντικατάσταση ενός μόνο module κοστίζει από 5.000 έως 7000 δολάρια^[63]. Το κόστος αντικατάστασης της μπαταρίας αποτελεί μεγαλύτερο πρόβλημα για μεμονωμένους αγοραστές λιανικής παρά για εταιρείες που θα αγοράσουν στόλους ηλεκτρικών οχημάτων. Οι αγοραστές στόλου (π.χ. εταιρείες car sharing ή εταιρείες ενοικίασης αυτοκινήτων) μπορούν να ενσωματώσουν το κόστος αντικατάστασης στη μέση τιμή της κοινής χρήσης ή ενοικίασης αυτοκινήτων.

Για να απαλλαγούν οι καταναλωτές από την ανησυχία του κόστους ενδεχόμενης βλάβης - αντικατάστασης της μπαταρίας, τα προσιτά ηλεκτρικά οχήματα στις ΗΠΑ πωλήθηκαν σε μεγάλο βαθμό σε μορφή leasing διάρκειας τριών ετών. Ακόμη και η Tesla εισήγαγε μια επιλογή leasing το 2019. Για τους αγοραστές ηλεκτρικών οχημάτων, η τυπική εγγύηση είναι για 8 χρόνια ή 160.000 χιλιόμετρα, διάρκεια ελαφρώς μεγαλύτερη από τη μισή ζωή του μέσου οχήματος στις ΗΠΑ^[64]. Οι εγγυήσεις της Tesla δεν είναι επαρκώς καθησυχαστικές για το μέσο καταναλωτή, καθώς δεν καλύπτουν το πρώτο 30% της μείωσης ζωής της μπαταρίας εντός της περιόδου εγγύησης - 160.000 χιλιόμετρα για το Model 3, 240.000 χιλιόμετρα για τα Model S και X.

Η βλάβη της μπαταρίας μπορεί να αποτελεί μικρότερο ρίσκο για οχήματα της premium κατηγορίας τα οποία διαθέτουν μεγάλες μπαταρίες και μεγάλη αυτονομία οδήγησης. Όταν μία μπαταρία αποτελείται από μεγάλο αριθμό στοιχείων, κάθε στοιχείο εξυπηρετεί λιγότερο φορτίο συγκριτικά με ένα σύνολο με μικρότερο αριθμό στοιχείων. Επίσης οι μπαταρίες μεγαλύτερης χωρητικότητας θα βρεθούν πιο σπάνια σε κατάσταση χαμηλής φόρτισης, φαινόμενο το οποίο επιταχύνει τη μείωση διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Για τα οικονομικά προσιτά ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρίες μικρότερης χωρητικότητας με μικρή εμβέλεια οδήγησης, η μείωση της διάρκειας ζωής

της μπαταρίας αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα, γεγονός το οποίο έχει αποδειχθεί σε δοκιμές σε πραγματικές συνθήκες με το Nissan Leaf ^[65].

Χαμηλή αξία μεταπώλησης

Με εξαίρεση τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα της Tesla, τα ετήσια ποσοστά μείωσης της εμπορικής αξίας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι σημαντικά μεγαλύτερα συγκριτικά με τα συμβατικά οχήματα ^[66]. Αυτό είναι εν μέρει αποτέλεσμα από τα κίνητρα που δίνουν οι κυβερνήσεις για αγορά καινούριων ηλεκτρικών οχημάτων, τα οποία όμως δεν ισχύουν για αγορά μεταχειρισμένων. Επίσης, η αγορά στην οποία απευθύνεται η μεταπώληση ενός ηλεκτρικού οχήματος είναι περιορισμένη σε σχέση με τη μεταπώληση ενός συμβατικού οχήματος. Τα νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος αποτελούν βασικό παράγοντα στην αγορά μεταχειρισμένων οχημάτων. Μπορεί να είναι σε θέση να αντέξουν οικονομικά μόνο ένα όχημα και αυτό πρέπει να καλύψει τις ανάγκες τους για μικρές και μεγάλες αποστάσεις. Επιπλέον, τα νοικοκυριά με χαμηλότερο εισόδημα είναι λιγότερο πιθανό να διαθέτουν ιδιωτικό γκαράζ όπου μπορούν να φορτίζουν στο σπίτι τους. Δημόσιοι σταθμοί ηλεκτρικής φόρτισης, ακόμη και αν είναι διαθέσιμοι, θα έχουν αυξημένες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που μειώνει το πλεονέκτημα λειτουργικού κόστους των ηλεκτρικών οχημάτων έναντι των συμβατικών.

3.2. Βασικά Οικονομικά Μεγέθη

Βασικοί παράγοντες για την εμπορική διείσδυση των υβριδικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε ευρεία κλίμακα αποτελούν οι καμπύλες κόστους των δύο τεχνολογιών, ιδιαίτερα για το χρονικό διάστημα 2021-2035, το οποίο είναι ιδιαίτερα κρίσιμο με βάση τους στόχους που έχουν τεθεί από τις κυβερνήσεις για τη μείωση ρύπων.

3.2.1. Καμπύλη κόστους υβριδικών οχημάτων

Κατά τη διάρκεια οδήγησης σε πραγματικές συνθήκες αστικού περιβάλλοντος, η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές CO₂ των υβριδικών οχημάτων είναι 2-4 φορές υψηλότερες από τις ονομαστικές σύμφωνα με την Παγκόσμια Εναρμονισμένη

Διαδικασία Δοκιμής Ελαφρών Οχημάτων* World Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure, WLTP).

Η συγκεκριμένη απόκλιση οφείλεται κυρίως σε χαμηλότερη συχνότητα φόρτισης στην καθημερινότητα απ'ότι σε συνθήκες WLTP και στην οδηγική συμπεριφορά των χρηστών, κατά την οποία δεν γίνεται πλήρης εκμετάλλευση του φορτίου της μπαταρίας με τον βενζινοκινητήρα να λειτουργεί περισσότερο απ'ότι σε ιδανικές συνθήκες οικονομίας.

Το συνδυασμένο κόστος του κινητήρα εσωτερικής καύσης και του συστήματος ηλεκτροκινητήρων για ένα υβριδικό αυτοκίνητο είναι υψηλό σε σχέση είτε με συμβατικά είτε με αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Το κόστος της μπαταρίας σε ένα υβριδικό όχημα υπολογίζεται σε ένα εύρος 181 €/kWh – 196 €/kWh για το 2021 και υπολογίζεται ότι θα μειωθεί περίπου στα 81 €/kWh – 88 €/kWh έως το 2035 ^[67]. Το συνολικό πρόσθετο κόστος κατασκευής για ένα υβριδικό όχημα με 50km αυτονομία ηλεκτροκινητήρων εκτιμάται ότι είναι περίπου 4.700 € υψηλότερο από εκείνο ενός αντίστοιχου συμβατικού αυτοκινήτου εσωτερικής καύσης το 2021. Το επιπρόσθετο κόστος κατασκευής υπολογίζεται ότι θα μειωθεί σε 3.400 € έως το 2035. Για ένα υβριδικό όχημα αυτονομίας 100 km, το πρόσθετο κόστος κατασκευής υπολογίζεται στα 6.500 € το 2021 με ορίζοντα μείωσης σε 4.200 € έως το 2035.

**Η Παγκόσμια Εναρμονισμένη Διαδικασία Δοκιμής Ελαφρών Οχημάτων (World Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure, WLTP) είναι ένα παγκόσμιο, εναρμονισμένο πρότυπο για τον προσδιορισμό των επιπέδων ρύπων, των εκπομπών CO₂ και της κατανάλωσης καυσίμου των παραδοσιακών και υβριδικών αυτοκινήτων, καθώς και της αυτονομίας των πλήρως ηλεκτρικών οχημάτων. Διαδέχθηκε τον «Νέο Ευρωπαϊκό Κύκλο Οδήγησης» (NEDC) ο οποίος χρησιμοποιείτο από τη δεκαετία του 1990.*

	2021	2025	2030	2035
PHEV-50 km				
Utility factor (WLTP)	0.755	0.689	0.689	0.689
Energy consumption (WLTP)	0.15 kWh/km	0.14 kWh/km	0.14 kWh/km	0.13 kWh/km
Fuel consumption (WLTP)	1.5 L/100km	1.3 L/100km	1.3 L/100km	1.3 L/100km
Battery pack cost	196 €/kWh	147 €/kWh	102 €/kWh	88 €/kWh
Battery size	11 kWh	11 kWh	11 kWh	10 kWh
PHEV-75 km				
Utility factor (WLTP)	0.852	0.852	0.852	0.852
Energy consumption (WLTP)	0.16 kWh/km	0.16 kWh/km	0.15 kWh/km	0.15 kWh/km
Fuel consumption (WLTP)	0.9 L/100km	0.8 L/100km	0.8 L/100km	0.7 L/100km
Battery pack cost	188 €/kWh	141 €/kWh	98 €/kWh	84 €/kWh
Battery size	17 kWh	16 kWh	16 kWh	16 kWh
PHEV-100 km				
Utility factor (WLTP)	0.902	0.902	0.902	0.902
Energy consumption (WLTP)	0.17 kWh/km	0.16 kWh/km	0.16 kWh/km	0.16 kWh/km
Fuel consumption (WLTP)	0.6 L/100km	0.5 L/100km	0.5 L/100km	0.5 L/100km
Battery pack cost	181 €/kWh	136 €/kWh	95 €/kWh	81 €/kWh
Battery size	23 kWh	22 kWh	21 kWh	21 kWh

Πίνακας 3.1. – Βασικά μεγέθη καμπύλης κόστους για υβριδικά οχήματα κατά το χρονικό διάστημα 2021 – 2035*

3.2.2. Καμπύλη κόστους ηλεκτρικών οχημάτων

Παρατίθενται εκτιμήσεις κόστους για ηλεκτρικά οχήματα με αυτονομία οδήγησης 350 km, 450 km και 550 km. Σύμφωνα με την Παγκόσμια Εναρμονισμένη Διαδικασία Δοκιμής Ελαφρών Οχημάτων – WLPT, η κατανάλωση ενέργειας για όλους τους τύπους ηλεκτρικών οχημάτων θεωρείται ίση με 0,16 kWh/km, συμπεριλαμβανομένων των απωλειών φόρτισης, όπως απαιτείται στη διαδικασία δοκιμής. Το μέγεθος της μπαταρίας ανά ηλεκτρικό όχημα κυμαίνεται μεταξύ 52 kWh και 85 kWh. Για τις παρακάτω εκτιμήσεις έχει υποτεθεί ότι το άμεσο κόστος παραγωγής μπαταριών θα μειωθεί κατά 7% ετησίως έως το 2030, με τον ετήσιο ρυθμό μείωσης να μειώνεται σταδιακά στο 1% ετησίως έως το 2035. Το συνολικό πρόσθετο κόστος κατασκευής για ένα ηλεκτρικό όχημα αυτονομίας 350 km σε σύγκριση με ένα αντίστοιχο συμβατικό αυτοκίνητο εσωτερικής καύσης υπολογίζεται περίπου στα 5.000 € για το 2021, ενώ προβλέπεται σημαντική μείωση στα 750 € έως το 2035. Αντίστοιχα για ένα long range ηλεκτρικό αυτοκίνητο αυτονομίας 550 km, το πρόσθετο κόστος κατασκευής υπολογίζεται περίπου στα 9.000 ευρώ για το 2021 με πρόβλεψη μείωσης στα 2.400 ευρώ έως το 2035.

*WLPT Utility Factor - Αντιπροσωπεύει το ποσοστό της απόστασης που διανύει το όχημα με ηλεκτρική ενέργεια. Στην περίπτωση αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων, το UF είναι 100%. Στην περίπτωση των συμβατικών κινητήρων εσωτερικής καύσης, το UF είναι 0%. Στην περίπτωση των υβριδικών οχημάτων, το UF αυξάνεται με το ηλεκτρικό εύρος τους.

	2021	2025	2030	2035
BEV-350km				
Energy consumption (WLTP)	0.16 kWh/km	0.15 kWh/km	0.15 kWh/km	0.15 kWh/km
Battery pack cost	141 €/kWh	105 €/kWh	73 €/kWh	63 €/kWh
Battery size ^a	52 kWh	51 kWh	49 kWh	48 kWh
BEV-450km				
Energy consumption (WLTP)	0.16 kWh/km	0.15 kWh/km	0.15 kWh/km	0.15 kWh/km
Battery pack cost	141 €/kWh	104 €/kWh	73 €/kWh	63 €/kWh
Battery size	68 kWh	66 kWh	64 kWh	62 kWh
BEV-550km				
Energy consumption (WLTP)	0.16 kWh/km	0.15 kWh/km	0.15 kWh/km	0.15 kWh/km
Battery pack cost	139 €/kWh	104 €/kWh	73 €/kWh	62 €/kWh
Battery size	85 kWh	83 kWh	80 kWh	78 kWh

Πίνακας 3.2. – Βασικά μεγέθη καμπύλης κόστους για ηλεκτρικά οχήματα κατά το χρονικό διάστημα 2021 – 2035 (^aΗ απαιτούμενη ωφέλιμη ενέργεια μπαταρίας ανά κατηγορία – χρονολογία υπολογίζεται με βάση την κατανάλωση του οχήματος χωρίς να ληφθούν υπόψη οι απώλειες φόρτισης – Οι τιμές είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές κατά WLPT).

Βασικός παράγοντας για τις καμπύλες κόστους των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί η προβλεπόμενη διακύμανση κόστους στις μπαταρίες των οχημάτων κατά το χρονικό διάστημα 2021 – 2035. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι βασικές προβλέψεις για τη διακύμανση του κόστους των μπαταριών. Οι μέσες και πιο αισιόδοξες προβλέψεις τείνουν να ακολουθούν τις παρατηρούμενες εξελίξεις της αγοράς έως σήμερα και τις ανακοινώσεις της βιομηχανίας για το άμεσο μέλλον. Οι απαισιόδοξες παραδοχές λαμβάνουν υπόψη την πιθανότητα για σημαντικά βραδύτερες τεχνολογικές βελτιώσεις από ό,τι παρατηρήθηκε μέχρι σήμερα και θεωρούνται να συγκεντρώνουν μικρές πιθανότητες επαλήθευσης.

	2021	2025	2030	2035
Lower-case variation		97 €/kWh	60 €/kWh	51 €/kWh
Central case	141 €/kWh	105 €/kWh	73 €/kWh	63 €/kWh
Upper-case variation		114 €/kWh	88 €/kWh	76 €/kWh

Πίνακας 3.3. – Προβλέψεις κόστους μπαταριών για ηλεκτρικά οχήματα κατά το χρονικό διάστημα 2021 – 2035.

3.3. Επιχειρηματικά Μοντέλα για την Εμπορική Ενίσχυση των Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων

Η ευρεία διάδοση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα αποτελέσει έναν κρίσιμο παράγοντα στην παγκόσμια προσπάθεια για μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων στον τομέα των μεταφορών. Παρ' όλα αυτά, η εμπορική τους πορεία ακολουθεί μία αργή πορεία ανόδου. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί καλά με τη θεωρία για τα προβλήματα του κοινωνικού διλήμματος και τη διάχυση των καινοτομιών στις αγορές. Το παραδοσιακό επιχειρηματικό μοντέλο «πώληση και απεμπλοκή» δεν είναι κατάλληλο για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Έχουν μελετηθεί και αναπτυχθεί εναλλακτικά επιχειρηματικά μοντέλα τα οποία αντιμετωπίζουν σημαντικούς παράγοντες ώστε να βελτιώσουν την ταχύτητα με την οποία οι πελάτες υιοθετούν μια καινοτομία όπως τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Μελέτες δείχνουν ότι τα εναλλακτικά επιχειρηματικά μοντέλα είναι απαραίτητα, αλλά δεν μπορούν από μόνα τους να εξασφαλίσουν μια γρήγορη και διαρκή εμπορευματοποίηση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Συμπληρωματικά, οι κυβερνήσεις θα πρέπει να λάβουν μέτρα για τον έλεγχο εξωτερικών παραγόντων που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα των επιχειρηματικών μοντέλων για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα.

3.3.1. Ορισμός ενός Επιχειρηματικού Μοντέλου

Ένα επιχειρηματικό μοντέλο είναι μια περιγραφή του τρόπου με τον οποίο μια εταιρεία δημιουργεί, παρέχει και κεφαλαιοποιεί αξία, σε μορφή προϊόντων ή υπηρεσιών ^[68]. Ένα βιώσιμο επιχειρηματικό μοντέλο οφείλει να παρέχει στον πελάτη αξία υψηλότερη από το κόστος απόκτησής του και στη συνέχεια να κεφαλαιοποιεί τη διαφορά. Τα επιχειρηματικά μοντέλα αξιοποιούν την εγγενή αξία των τεχνολογιών με διαφορετικούς βαθμούς αποδοτικότητας και με διαφορετικά χαρακτηριστικά ^[69]. Στο πιο συνηθισμένο επιχειρηματικό μοντέλο «πώληση και απεμπλοκή», η ιδιοκτησία ενός προϊόντος και όλα τα μελλοντικά του έξοδα μεταβιβάζονται στον αγοραστή ως αντάλλαγμα χρημάτων στο σημείο πώλησης, ενδεχομένως με ορισμένες εγγυήσεις. Ένα εναλλακτικό επιχειρηματικό μοντέλο είναι η διατήρηση της ιδιοκτησίας του προϊόντος και η πώληση πρόσβασης σε αυτό με τη μορφή της συνδρομής, όπως η

ενοικίαση ενός διαμερίσματος, ή οι υπηρεσίες streaming ψυχαγωγικού περιεχομένου οι οποίες γνωρίζουν παγκόσμια άνθηση σήμερα.

Το επιχειρηματικό μοντέλο που θα εφαρμόσει η εκάστοτε αυτοκινητοβιομηχανία είναι εκείνο που καθορίζει με το τί θα συγκριθεί η προσφορά ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου προς τους καταναλωτές. Ένα παραδοσιακό επιχειρηματικό μοντέλο «πώληση και απεμπλοκή» για ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα τα οδηγήσει σε άμεση σύγκριση με τα συμβατικά αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης, ενώ μια υπηρεσία κοινής χρήσης αυτοκινήτων μπορεί να οδηγήσει τους καταναλωτές να την συγκρίνουν με υπηρεσίες ταξί ή δημόσιας συγκοινωνίας.

Το κλειδί για μια βιώσιμη επιχείρηση είναι η ικανότητα του ιδιοκτήτη του επιχειρηματικού μοντέλου να κεφαλαιοποιήσει την πλεονάζουσα αξία, δηλαδή την αξία πάνω από το κόστος για την παροχή της. Δεδομένου ότι υπάρχει περιορισμένη προθυμία από τους καταναλωτές να πληρώσουν ιδιωτικά για κάτι που θα ωφελήσει τα κοινά, αυτό είναι εξαιρετικά δύσκολο όταν ένα σημαντικό μέρος της αξίας ενός προϊόντος είναι κοινό αγαθό και όχι ιδιωτικό αγαθό.

3.3.2. Το Παραδοσιακό Επιχειρηματικό Μοντέλο και τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα

Το παραδοσιακό επιχειρηματικό μοντέλο των αυτοκινητοβιομηχανιών «πώληση και απεμπλοκή» όπου η φυσική ιδιοκτησία προϊόντος, και συνεπώς κάθε κίνδυνος, μεταβιβάζεται στον αγοραστή στο σημείο πώλησης μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά για καθιερωμένες τεχνολογίες με χαμηλό κίνδυνο, αλλά όχι για νέες τεχνολογίες, ειδικά όταν η νέα τεχνολογία δεν έχει ακόμα το ίδιο επίπεδο αξιοπιστίας με την υφιστάμενη τεχνολογία που προορίζεται να ανταγωνιστεί. Με τη χρήση του παραδοσιακού επιχειρηματικού μοντέλου "πώληση και απεμπλοκή" στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, οι καταναλωτές τα συγκρίνουν άμεσα με τα συμβατικά αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης, εντοπίζοντας κάποια σημαντικά μειονεκτήματα που αποθαρρύνουν την πλειοψηφία να μετατραπεί σε early adopters της ηλεκτροκίνησης: 1) σημαντικά υψηλότερη τιμή αγοράς, 2) μικρότερη αυτονομία οδήγησης, 3) αβέβαιη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Ο δισταγμός που δημιουργείται στους αγοραστές

καινούριων αυτοκινήτων ισχύει και για αγοραστές μεταχειρισμένων αυτοκινήτων, γεγονός που καθιστά αβέβαιη την αξία ενός μεταχειρισμένου ηλεκτρικού αυτοκινήτου.

Οι καταναλωτές έχουν την τάση να απαιτούν μεγαλύτερο δείκτη value for money για σε μία νέα τεχνολογία σε σύγκριση με μία υφιστάμενη τεχνολογία, εξαιτίας κυρίως της αμφιβολίας που έχουν προς την καινοτομία. Υπάρχει επίσης μία μη γραμμική αντίληψη για τα πιθανά κέρδη και τις απώλειες, όπου αντιλαμβανόμαστε την πιθανή απώλεια ως σημαντικότερη από τη χαρά από το να κερδίσουμε κάτι ίσης αξίας. Αυτό σημαίνει ότι όταν μια νέα τεχνολογία αποδίδει χειρότερα από την καθιερωμένη τεχνολογία σε οποιοδήποτε χαρακτηριστικό, θα απορριφθεί εύκολα ως κατώτερη.

Η τιμή έναντι του κόστους λειτουργίας έχει επίσης σημασία. Από τη συμπεριφορική οικονομία παρατηρείται ότι μια υψηλή αρχική τιμή αγοράς αλλά ένα χαμηλό μελλοντικό λειτουργικό κόστος συχνά θεωρείται λιγότερο ελκυστικό από ένα χαμηλότερο αρχικό κόστος αγοράς αλλά υψηλότερο λειτουργικό κόστος, ακόμη και όταν ο συνολικός οικονομικός αντίκτυπος είναι ακριβώς ο ίδιος ^[70]. Η απόφαση της Renault να πουλήσει όλα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητά της χωρίς μπαταρία και να χρεωθεί στον πελάτη με αναγκαστική μηνιαία μίσθωση είναι ένα παράδειγμα αλλαγής στην προσωρινή κατανομή της χρηματοδότησης, ώστε να καταστεί η τιμή και το κόστος προσφοράς όλων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε παρόμοια επίπεδα με εκείνα των συμβατικών αυτοκινήτων εσωτερικής καύσης.

3.3.3. Εναλλακτικά Επιχειρηματικά Μοντέλα για τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα

Παρακάτω αναλύονται τέσσερα θεωρητικά επιχειρηματικά μοντέλα τα οποία θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για την εμπορική ενίσχυση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην αγορά και να είναι πιο αποτελεσματικά από το παραδοσιακό μοντέλο απλής πώλησης που εφαρμόζουν ακόμα οι περισσότερες αυτοκινητοβιομηχανίες. Τα εναλλακτικά επιχειρηματικά μοντέλα βασίζονται στην υπόθεση ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα διατηρούν τα χαρακτηριστικά που έχουν σήμερα και ως εκ τούτου εστιάζουν σε περιπτώσεις χρήσης και κατηγορίες πελατών στις οποίες τα

μειονεκτήματα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων έχουν λιγότερη σημασία από τα πλεονεκτήματά τους.

Τα τέσσερα εναλλακτικά επιχειρηματικά μοντέλα δεν έχουν επαληθευτεί μέσω πραγματικών πωλήσεων στην αγορά αυτοκινήτων. Ωστόσο, βασίζονται σε μελέτες όπου οι δυνητικοί πελάτες έδειξαν ουσιαστικό ενδιαφέρον για τις προσφερόμενες τιμές, ενώ παράλληλα κρίθηκαν ως ρεαλιστικές από εταιρείες με δραστηριότητα στον χώρο της αυτοκίνησης.

Επιχειρηματικό Μοντέλο 1 – Υπηρεσίες Free Floating Car Sharing

Αρχική ιδέα

Η έμπνευση για αυτό το επιχειρηματικό μοντέλο ήταν το γεγονός ότι περισσότερο από το μισό του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε πόλεις και ότι θα είναι λίγο πολύ αδύνατο για τις πόλεις του μέλλοντος να φέρουν το φορτίο της σημερινής πυκνότητας αυτοκινήτων ανά πολίτη. Ως εκ τούτου, η αρχική ιδέα ήταν υπηρεσίες που βασίζονται στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, παρέχοντας προσωπική μεταφορά τόσο ευέλικτη και ιδιωτική όσο ένα προσωπικό αυτοκίνητο, αλλά με μεγαλύτερη ευκολία και λιγότερη ταλαιπωρία από την ιδιοκτησία ενός ΙΧ σε μια πόλη. Η ιδέα ήταν επίσης να προσφερθεί μια γκάμα από όλα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, από φορτηγά μέχρι σπορ αυτοκίνητα όπως το Tesla Roadster, έτσι ώστε να μπορεί να ικανοποιηθεί σχεδόν οποιαδήποτε επιθυμία των καταναλωτών.

Τρόπος λειτουργίας

Πηγαίνετε με ταξί αλλά είστε ο οδηγός. Έτσι λειτουργεί η υπηρεσία free floating car sharing. Ο χρήστης πληρώνει απλά ανά λεπτό χρήσης με το μοντέλο της χρονοχρέωσης. Ο τυπικός πελάτης είναι ένας κάτοικος της πόλης που θεωρεί όλο και πιο ενοχλητικό να έχει ένα αυτοκίνητο στην πόλη, αλλά εξακολουθεί να θέλει προσωπική μεταφορά πέρα από αυτό που μπορούν να προσφέρουν τα μέσα μαζικής μεταφοράς και τα ταξί. Με το free floating car sharing με ηλεκτρικά αυτοκίνητα, ο

καταναλωτής δεν χρειάζεται να πραγματοποιήσει κράτηση εκ των προτέρων, να τηρήσει ένα συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα ή να αφήσει το αυτοκίνητο εκεί που το πήρε όπως στις παραδοσιακές υπηρεσίες ενοικίασης αυτοκινήτων. Είναι σαν ταξί, αλλά οδηγείς μόνος σου.

Η συγκεκριμένη υπηρεσία δημιουργείται σε καθορισμένη γεωγραφική ζώνη εντός της πόλης. Σε αυτήν την περιοχή, οι χρήστες μπορούν να παραλάβουν και να επιστρέψουν τα αυτοκίνητα σε οποιοδήποτε δημόσιο χώρο στάθμευσης. Ο χρήστης πληρώνει ανά λεπτό χρήσης. Περιλαμβάνονται ηλεκτρική ενέργεια, συντήρηση, διόδια και όλα τα πάγια έξοδα του αυτοκινήτου. Είναι ένα ευέλικτο συμπλήρωμα των μέσων μαζικής μεταφοράς, όπως ακριβώς είναι το ταξί. Για τους ανθρώπους που ζουν στα κέντρα των πόλεων είναι ένα πρόσθετο όφελος το ότι δεν χρειάζεται να ασχοληθούν με το parking. Οι εταιρείες μπορούν επίσης να επωφεληθούν από υπηρεσίες κοινής χρήσης ηλεκτρικών αυτοκινήτων αντί να αποζημιώνουν τους υπαλλήλους που οδηγούν τα δικά τους αυτοκίνητα και έχουν θέσεις στάθμευσης για αυτούς.

Οι πελάτες κάνουν κράτηση και έχουν επαφή με την υπηρεσία μέσω smartphone, tablet ή υπολογιστή, δείχνοντας πού βρίσκονται τα αυτοκίνητα σε πραγματικό χρόνο. Η ιδέα είναι ότι θα πρέπει πάντα να υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα αυτοκίνητα για τους χρήστες ώστε να κάνουν κράτηση ακριβώς πριν από τη χρήση, δηλαδή τα αυτοκίνητα θα μπορούν να δεσμευτούν λίγο πριν χρησιμοποιηθούν. Σε αυτό το επιχειρηματικό μοντέλο, υποτίθεται ότι η πόλη συνεισφέρει με δωρεάν χώρο στάθμευσης εάν τα αυτοκίνητα είναι ηλεκτρικά, ώστε δοθούν κίνητρα για το περιβαλλοντικό όφελος.

Συγκριτικά πλεονεκτήματα

Το συγκεκριμένο επιχειρηματικό μοντέλο αποφεύγει εντελώς την άμεση σύγκριση με τα πιο οικονομικά συμβατικά αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης, αφού παρέχει μια υπηρεσία που μάλλον ανταγωνίζεται τα ταξί και τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Σε σχέση με αυτά, η υπηρεσία κοστίζει περισσότερο από τις δημόσιες συγκοινωνίες, αλλά είναι πιο ευέλικτη, ιδιωτική και βολική ενώ κοστίζει λιγότερο από το ταξί, αλλά απαιτεί από τον πελάτη να οδηγεί και να σταθμεύει.

Σε σχέση με το παραδοσιακό μοντέλο πώλησης παρατηρούμε τα ακόλουθα:

Συγκριτικό πλεονέκτημα: Παρέχει πρόσβαση και όχι ιδιοκτησία. Η χρήση των αυτοκινήτων είναι 2-3 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με το συμβατικό μοντέλο ιδιοκτησίας ΙΧ.

Συμβατότητα με κοινωνικοπολιτισμικές αξίες και πεποιθήσεις: Υποστηρίζει τη γενική τάση όπου το ενδιαφέρον για παραδοσιακή ιδιοκτησία αυτοκινήτου μειώνεται και οι άνθρωποι μετακινούνται σε πόλεις.

Εργονομία: Δεδομένου ότι ο χρήστης διαθέτει smartphone, το οποίο απαιτείται για τη χρήση της υπηρεσίας και τον εντοπισμό των αυτοκινήτων, η υπηρεσία είναι πολύ απλή.

Ευκολία δοκιμής: Η υπηρεσία μπορεί να δοκιμαστεί εύκολα και χωρίς καμία μακροχρόνια δέσμευση. Ο χρήστης πληρώνει μόνο για τον χρόνο χρήσης του αυτοκινήτου.

Παράγοντες βιωσιμότητας

Η υψηλή χρήση των αυτοκινήτων είναι το κύριο εργαλείο για να γίνει μια τέτοια υπηρεσία καλύτερη με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα παρά με τα αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης. Το χαμηλότερο κόστος χιλιομέτρων θα αντισταθμίσει την υψηλότερη τιμή κτήσης. Ωστόσο, οι τρέχουσες συνθήκες εγγύησης της μπαταρίας είναι ο κύριος οικονομικός περιορισμός, καθώς πρέπει να αναμένουμε ότι η υπολειμματική αξία ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου θα είναι σημαντικά μειωμένη όταν λήξει η εγγύηση της μπαταρίας. Ο δεύτερος πιο σημαντικός παράγοντας για την αποδοτικότητα του συγκεκριμένου επιχειρηματικού μοντέλου είναι ότι η πόλη μπορεί να παρέχει χαμηλό κόστος ή δωρεάν χώρο στάθμευσης για ηλεκτρικά αυτοκίνητα.

Ένα μειονέκτημα του επιχειρηματικού μοντέλου είναι ότι απαιτεί πολλά αυτοκίνητα κατά την έναρξη λειτουργίας της υπηρεσίας, το οποίο μεταφράζεται σε μεγάλο κεφάλαιο προς επένδυση. Οι πελάτες θα είναι ικανοποιημένοι μόνο εάν μπορούν να

βρουν εύκολα ένα αυτοκίνητο σε μια λογική απόσταση, συνήθως περίπου 200-300 μέτρα και η καθορισμένη περιοχή να μην είναι πολύ μικρή. Οι συγκεκριμένες προϋποθέσεις συνεπάγονται σε μια ανάγκη αρκετών εκατοντάδων αυτοκινήτων, δηλαδή σε μια σημαντική επένδυση και ως εκ τούτου αυξημένο επιχειρηματικό κίνδυνο.

Επιχειρηματικό Μοντέλο 2 – Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα σε Εταιρικούς Στόλους

Αρχική ιδέα

Τα εταιρικά αυτοκίνητα, δηλαδή αυτοκίνητα που παρέχονται από τον εργοδότη στους εργαζομένους για χρήση ως δικά τους ιδιωτικά αυτοκίνητα, είναι κοινή πρακτική στις ευρωπαϊκές χώρες. Επομένως, καθιστώντας τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ελκυστικά ως εταιρικά αυτοκίνητα, ένα σημαντικό μέρος της ευρωπαϊκής αγοράς νέων αυτοκινήτων θα είναι διαθέσιμο. Οι κάτοχοι εταιρικών αυτοκινήτων φορολογούνται με βάση την αξία του αυτοκινήτου. Για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα η φορολογία υπολογίζεται σε μειωμένη αξία, καθιστώντας πλεονεκτικό για τον εργαζόμενο να επιλέξει ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο ως εταιρικό αυτοκίνητο.

Τρόπος λειτουργίας

Τα μοντέλα χρηματοδότησης των εταιρικών αυτοκινήτων ποικίλλουν. Σε κάποιες περιπτώσεις ο εργοδότης πληρώνει για όλα τα έξοδα του αυτοκινήτου και ο εργαζόμενος απλώς φορολογείται για το όφελος, ενώ σε άλλες ο εργαζόμενος πληρώνει για όλα τα έξοδα του αυτοκινήτου με το κόστος να αφαιρείται από τις μεικτές αποδοχές του. Ένας αυξανόμενος αριθμός εταιρειών προσφέρει εταιρικά αυτοκίνητα του τελευταίου μοντέλου, το οποίο είναι ουδέτερο κοστολογικά για την εταιρεία. Για τον υπάλληλο το κόστος για ένα τέτοιο εταιρικό αυτοκίνητο είναι κάπως χαμηλότερο απ'ότι αν είχε αγοράσει το ίδιο αυτοκίνητο ιδιωτικά.

Για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα το μοντέλο χρηματοδότησης που είναι κοστολογικά ουδέτερο για την εταιρεία είναι το χειρότερο σενάριο για τον εργαζόμενο. Η

υψηλότερη τιμή του ηλεκτρικού αυτοκινήτου πρέπει να καλυφθεί από τον εργαζόμενο μέσω μεγαλύτερης μείωσης μισθού, η οποία με τη σειρά της πρέπει να αντισταθμιστεί από τη χαμηλότερη φορολογία για το αυτοκίνητο και το χαμηλότερο μεταφορικό κόστος ανά χιλιόμετρο για να μπορέσει να γίνει το ηλεκτρικό αυτοκίνητο ανταγωνιστικό σε σχέση με ένα συμβατικό αυτοκίνητο εσωτερικής καύσης. Υπολογίζεται ότι ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο κοστίζει ως επί το πλείστον στον εργαζόμενο λιγότερο ανά μήνα από ένα αντίστοιχο συμβατικό αυτοκίνητο. Αυτή η διαφορά κόστους αυξάνεται όσο αυξάνονται τα μηνιαία χιλιόμετρα μετακίνησης.

Σε περιπτώσεις όπου ο εργοδότης αναλαμβάνει το σύνολο ή μέρος των εξόδων για το εταιρικό αυτοκίνητο, το ηλεκτρικό αυτοκίνητο μπορεί να είναι μια ακριβή εναλλακτική λύση για την εταιρεία. Κανονικά, μόνο ο εργαζόμενος επωφελείται από τον χαμηλότερο φόρο και τα χαμηλότερα κόστη καυσίμων του αυτοκινήτου, ενώ ο εργοδότης επηρεάζεται από την υψηλότερη τιμή αγοράς. Για να καταστεί το ηλεκτρικό αυτοκίνητο μία ελκυστική εναλλακτική λύση ως εταιρικό αυτοκίνητο και για τα δύο μέρη, η ιδέα είναι ότι ο εργοδότης, μέσω πρόσθετης μείωσης μισθού του εργαζομένου, να λαμβάνει ένα μερίδιο από τα μηνιαία οφέλη μετακίνησης, αντισταθμίζοντας έτσι την υψηλότερη τιμή αγοράς. Παρόλο που τα πλήρη οφέλη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε αυτήν την περίπτωση δεν φτάνουν στον εργαζόμενο, το ηλεκτρικό αυτοκίνητο μπορεί ακόμα να είναι μια ανταγωνιστική εναλλακτική λύση σε ένα συμβατικό αυτοκίνητο.

Τα εταιρικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούνται συχνά ως το πρώτο αυτοκίνητο της οικογένειας. Ως εκ τούτου, το αυτοκίνητο αναμένεται να μπορεί να μεταφέρει όλη την οικογένεια και τις αποσκευές τους σε διακοπές κλπ. Πολλοί κάτοχοι εταιρικών αυτοκινήτων τα χρησιμοποιούν επίσης για επαγγελματικά ταξίδια, οδηγώντας μεγάλες αποστάσεις. Για αυτούς τους λόγους, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μπορεί να μην είναι η κύρια επιλογή ως εταιρικό αυτοκίνητο. Ωστόσο, εάν ο εργοδότης προσφέρει, για παράδειγμα, υπηρεσία ανταλλαγής αυτοκινήτων μεταξύ συναδέλφων, για χρήση όταν το ηλεκτρικό αυτοκίνητο είναι ανεπαρκές, μερικά από τα μειονεκτήματα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων μπορούν να ξεπεραστούν.

Συγκριτικά πλεονεκτήματα

Το συγκεκριμένο επιχειρηματικό μοντέλο αποδεικνύεται αποτελεσματικό μέχρι στιγμής, αν αναλογιστεί κανείς ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ήδη κατέχουν ένα ικανοποιητικό ποσοστό στην αγορά των εταιρικών αυτοκινήτων.

Σε σχέση με το παραδοσιακό μοντέλο πώλησης παρατηρούμε τα ακόλουθα:

Συγκριτικό πλεονέκτημα: Σε σύγκριση με τα συμβατικά εταιρικά αυτοκίνητα, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δείχνουν να είναι λιγότερο δαπανηρά. Αυτό θα πρέπει να τα συμπεριλάβει στον κατάλογο πολλών υπαλλήλων, καθώς μπορεί να μειώσει σημαντικά το μηνιαίο μεταφορικό τους κόστος.

Συμβατότητα με κοινωνικοπολιτισμικές αξίες και πεποιθήσεις: Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα προσφέρουν στον πελάτη μια λύση που είναι λιγότερο δαπανηρή και πιο φιλική προς το περιβάλλον από ένα αντίστοιχο αυτοκίνητο εσωτερικής καύσης, όντας μία λύση σύμφωνη με τις τρέχουσες κοινωνικές αξίες και πεποιθήσεις για την προστασία του περιβάλλοντος.

Παράγοντες βιωσιμότητας

Ο πιο σημαντικός παράγοντας βιωσιμότητας για αυτό το επιχειρηματικό μοντέλο είναι οι φορολογικοί κανονισμοί για τα επαγγελματικά αυτοκίνητα. Ωστόσο, η μείωση της φορολογίας για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι προσωρινή και για να είναι βιώσιμο αυτό το επιχειρηματικό μοντέλο πρέπει να επεκταθεί και στο μέλλον. Ο δεύτερος πιο σημαντικός παράγοντας βιωσιμότητας είναι η αξία του αυτοκινήτου στην αγορά μεταχειρισμένων αυτοκινήτων. Μια υψηλότερη αξία μεταχειρισμένου αυτοκινήτου θα βελτίωνε περαιτέρω το επιχειρηματικό μοντέλο των ηλεκτρικών εταιρικών αυτοκινήτων και θα επέτρεπε μια μικρότερη (πιο ανταγωνιστική) περίοδο μίσθωσης.

Επιχειρηματικό Μοντέλο 3 – Συνδρομή Χρήσης Ηλεκτρικού Αυτοκινήτου

Αρχική ιδέα

Αυτό το επιχειρηματικό μοντέλο είναι μια προσπάθεια αύξησης του βαθμού χρήσης αυτοκινήτων που ανήκουν σε ιδιώτες. Οι υπολογισμοί για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα απαιτούν εκτεταμένη χρήση του αυτοκινήτου για να είναι ανταγωνιστικό κοστολογικά σε σύγκριση με ένα αντίστοιχο συμβατικό αυτοκίνητο. Η αρχική ιδέα είναι εμπνευσμένη από την κοινή χρήση αυτοκινήτων μεταξύ οδηγών, γνωστό και ως car sharing. Σε συνδυασμό με την κοινωνική τάση του μειωμένου ενδιαφέροντος για την ιδιοκτησία αυτοκινήτων, το αποτέλεσμα είναι μια υπηρεσία κοινής χρήσης αυτοκινήτων κατάλληλη για μεγάλο αριθμό επιβατών.

Τρόπος λειτουργίας

Η συνδρομή για ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι μια υπηρεσία κοινής χρήσης αυτοκινήτων για συχνούς χρήστες, άτομα που χρειάζονται πρόσβαση σε αυτοκίνητο λίγο πολύ κάθε μέρα. Για αυτούς τους συχνούς χρήστες, οι σημερινές υπηρεσίες κοινής χρήσης αυτοκινήτων γίνονται πολύ ακριβές για να ανταγωνιστούν την παραδοσιακή ιδιοκτησία αυτοκινήτου. Η συνδρομή προσφέρει πρόσβαση σε ηλεκτρικά αυτοκίνητα σε συμφωνημένο επίπεδο κόστους, με σταθερό μηνιαίο τέλος που αντιστοιχεί στο κόστος κατοχής ενός αντίστοιχου συμβατικού αυτοκινήτου. Εάν ο συνδρομητής χρειαστεί να χρησιμοποιήσει ένα αυτοκίνητο περισσότερο από ό, τι έχει συμφωνηθεί στη σύμβαση, η επιπλέον χρήση θα χρεωθεί με βάση την τιμολογιακή κλίμακα των κανονικών πελατών κοινής χρήσης αυτοκινήτων.

Η συνδρομή για τη χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων επιτρέπει στον συνδρομητή να χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό αυτοκίνητο για μετακινήσεις. Όταν ο συνδρομητής δεν χρησιμοποιεί το αυτοκίνητο, θα είναι διαθέσιμο για τους κοινούς πελάτες που χρησιμοποιούν τα αυτοκίνητα ad hoc, επομένως η χρήση των αυτοκινήτων μεγιστοποιείται. Όταν το ηλεκτρικό αυτοκίνητο χρησιμοποιείται για μετακινήσεις, ο συνδρομητής μπορεί να το κρατήσει στο σπίτι κατά τη διάρκεια της νύχτας και εφόσον

είναι πλήρως φορτισμένο το πρωί, οι νυχτερινές ώρες είναι δωρεάν. Η συνδρομή περιλαμβάνει όλα τα έξοδα του αυτοκινήτου, ακόμη και ηλεκτρικό ρεύμα (καύσιμο). Ο συνδρομητής δεν χρειάζεται να ανησυχεί για τις υπηρεσίες, τις επισκευές και τη συντήρηση του αυτοκινήτου.

Οι συνδρομητές ηλεκτρικών αυτοκινήτων έχουν επίσης πλήρη πρόσβαση στην παραδοσιακή υπηρεσία κοινής χρήσης συμβατικών αυτοκινήτων. Αυτό δίνει στους συνδρομητές εύκολη πρόσβαση σε ένα συμβατικό αυτοκίνητο όταν το ηλεκτρικό αυτοκίνητο δεν επαρκεί, για παράδειγμα για μεγαλύτερα ταξίδια. Ο συνδρομητής πληρώνει το συνηθισμένο τέλος υπηρεσίας κοινής χρήσης αυτοκινήτου για χρήση συμβατικού αυτοκινήτου, αλλά δεν έχει κανένα κόστος για την υπάρχουσα συνδρομή του κατά τη διάρκεια χρήσης του συμβατικού αυτοκινήτου. Όλες οι κρατήσεις αυτοκινήτων γίνονται εύκολα μέσω μιας εφαρμογής που διατίθεται για smartphone.

Μια θετική επίδραση της ύπαρξης συνδρομητών που μετακινούνται με αυτοκίνητα κοινής χρήσης είναι ότι ταυτόχρονα μεταφέρουν αυτοκίνητα εκεί όπου υπάρχει ζήτηση για χρήση αυτοκινήτου. Κατά τη διάρκεια των καθημερινών ημερών τα αυτοκίνητα θα σταθμεύουν σε περιοχές όπου εργάζονται πολλοί άνθρωποι και τα βράδια και τα σαββατοκύριακα οι συνδρομητές φέρνουν τα αυτοκίνητα σε προάστια και περιοχές όπου ζουν πολλοί άνθρωποι. Αυτή η γεωγραφική κίνηση των αυτοκινήτων βοηθά στην επέκταση της αγοράς για την υπηρεσία κοινής χρήσης αυτοκινήτων.

Συγκριτικά πλεονεκτήματα

Αυτό το επιχειρηματικό μοντέλο μειώνει τις απαιτήσεις για τη δοκιμή ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου για μετακινήσεις. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει επένδυση που πρέπει να γίνει και η συνδρομή δεν συνεπάγεται σε μακροπρόθεσμη δέσμευση, το ρίσκο που αναλαμβάνει ο πελάτης δοκιμάζοντας αυτήν την υπηρεσία είναι ελάχιστος. Έχοντας τους πελάτες να πληρώνουν μόνο για την πραγματική χρήση του αυτοκινήτου, το κόστος είναι επίσης ανταγωνιστικό, σε σύγκριση με την κατοχή ενός αυτοκινήτου που χρησιμοποιείται για τον ίδιο σκοπό.

Σε σχέση με το παραδοσιακό μοντέλο πώλησης παρατηρούμε τα ακόλουθα:

Συγκριτικό πλεονέκτημα: Παρέχει πρόσβαση και όχι ιδιοκτησία. Η χρήση των αυτοκινήτων είναι 2-3 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με το συμβατικό μοντέλο ιδιοκτησίας ΙΧ.

Συμβατότητα με κοινωνικοπολιτισμικές αξίες και πεποιθήσεις: Το επιχειρηματικό μοντέλο υποστηρίζει τη γενική τάση όπου το ενδιαφέρον για την ιδιοκτησία ενός αυτοκινήτου μειώνεται. Επίσης, η οδήγηση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον από την οδήγηση ενός αντίστοιχου συμβατικού αυτοκινήτου, το οποίο είναι σύμφωνο με τις τρέχουσες κοινωνικές αξίες και πεποιθήσεις.

Εργονομία: Η υπηρεσία είναι πολύ απλή και ευέλικτη, επομένως προσαρμόζεται στις ανάγκες των πελατών. Ένα σταθερό μηνιαίο τέλος all inclusive διευκολύνει τους πελάτες στο να προβλέψουν το κόστος του αυτοκινήτου τους.

Ευκολία δοκιμής: Η υπηρεσία μπορεί να δοκιμαστεί χωρίς καμία μακροχρόνια δέσμευση και δεν απαιτείται τέλος εγγραφής. Η συνδρομή δίνει επίσης τη δυνατότητα στους ιδιοκτήτες της πλατφόρμας να συμπεριλάβουν όλα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα στην γκάμα των αυτοκινήτων τους που προσφέρονται σε πελάτες κοινής χρήσης αυτοκινήτων, καθώς ο υψηλός βαθμός χρήσης όλων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι απαραίτητος για την επίτευξη της βιωσιμότητας. Προσφέροντας ηλεκτρικά αυτοκίνητα σε τακτικούς πελάτες συμβατικών αυτοκινήτων, είναι εφικτό για περισσότερους ανθρώπους να αποκτήσουν την εμπειρία οδήγησης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου.

Παράγοντες βιωσιμότητας

Το ποσοστό πληρότητας των αυτοκινήτων είναι ο πιο κρίσιμος παράγοντας για τη βιωσιμότητα αυτού του επιχειρηματικού μοντέλου. Το χαμηλό κόστος λειτουργίας και η υψηλή τιμή αγοράς των ηλεκτρικών αυτοκινήτων σημαίνει ότι όσο περισσότερο χρησιμοποιείται το αυτοκίνητο, τόσο καλύτερη είναι η βιωσιμότητα του μοντέλου.

Ωστόσο, η χρήση περιορίζεται από την εγγύηση της μπαταρίας. Δεδομένου ότι το αυτοκίνητο χρησιμοποιείται τόσο πολύ, το όριο χιλιομετρικής εγγύησης φτάνει πολύ σύντομα. Αυτό περιορίζει σημαντικά τις ευκαιρίες κέρδους της επιχείρησης. Εάν παραταθεί η εγγύηση της μπαταρίας ή αν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι λειτουργικά ακόμη και μετά τη λήξη της εγγύησης, θα υπήρχε πολύ θετικό αντίκτυπο στη βιωσιμότητα αυτού του επιχειρηματικού μοντέλου. Το συγκεκριμένο επιχειρηματικό μοντέλο είναι πιο εύκολο να υλοποιηθεί ως συμπλήρωμα μιας υπάρχουσας δημόσιας υπηρεσίας κοινής χρήσης αυτοκινήτων. Με αυτόν τον τρόπο η υπάρχουσα πελατειακή βάση δημιουργεί ζήτηση για τα αυτοκίνητα σε περιόδους που οι συνδρομητές δεν τα χρησιμοποιούν.

Επιχειρηματικό Μοντέλο 4 – Υπηρεσίες Μίσθωσης Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων

Αρχική ιδέα

Οι εταιρείες ενοικίασης αυτοκινήτων αγοράζουν ετησίως έναν μεγάλο αριθμό αυτοκινήτων για να εξοπλίσουν τον στόλο τους. Αυτά τα αυτοκίνητα χρησιμοποιούνται ως εταιρικά αυτοκίνητα συνήθως για 2-3 χρόνια πριν πωληθούν στην αγορά μεταχειρισμένων αυτοκινήτων. Εάν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αποκτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της αγοράς μίσθωσης, θα βοηθούσε στη μεταπωλητική τους αξία ως μεταχειρισμένα, κάτι που είναι σημαντικό για την ταχεία εμπορευματοποίησή τους.

Ωστόσο, το να δημιουργηθεί τόσο μεγάλη ζήτηση για ηλεκτρικά αυτοκίνητα αλλά και να επιτευχθεί ένα κερδοφόρο επιχειρηματικό μοντέλο στην αγορά ενοικίασης, φαντάζει δύσκολό τη δεδομένη χρονική στιγμή. Αυτό έχει γεννήσει την ιδέα της μίσθωσης στην οποία το ηλεκτρικό αυτοκίνητο διατηρείται μέχρι το τέλος της ζωής του, εξαλείφοντας έτσι το ζήτημα της μεταπωλητικής του αξίας.

Τρόπος λειτουργίας

Υπάρχουν ισχυρισμοί ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα σήμερα ήδη παρέχουν χαμηλότερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας από ότι τα αντίστοιχα συμβατικά αυτοκίνητα για πολλούς

καταναλωτές, αλλά αυτό συμβαίνει μόνο εάν παρατηρηθεί καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του αυτοκινήτου. Εάν το αυτοκίνητο πωληθεί πριν από το τέλος ζωής του, το κόστος ιδιοκτησίας θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από την τιμή του μεταχειρισμένου αυτοκινήτου όταν πωληθεί. Σήμερα, υπάρχει μια μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με τις τιμές των μεταχειρισμένων ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Ένας τρόπος για να μειωθεί η αβεβαιότητα είναι ο ιδιοκτήτης να το διατηρήσει στην κατοχή του μέχρι το τέλος της ζωής του. Τα περισσότερα ιδιωτικά νοικοκυριά δεν ενδιαφέρονται για τέτοιες δεσμεύσεις. Στην πραγματικότητα, ένα αυξανόμενο μερίδιο νοικοκυριών δεν ενδιαφέρεται καθόλου να κατέχει αυτοκίνητο, αρκεί να έχει πρόσβαση σε ένα.

Η ιδέα με αυτό το επιχειρηματικό μοντέλο είναι μια εταιρεία leasing να κατέχει το αυτοκίνητο και να το μισθώνει σε μια αλυσίδα πελατών μέχρι το τέλος της ζωής του. Το δυνητικά χαμηλότερο κόστος ιδιοκτησίας μπορεί στη συνέχεια να μοιραστεί μεταξύ της εταιρείας leasing και των πελατών της και ο κίνδυνος της μειωμένης μεταπωλητικής αξίας μειώνεται σημαντικά. Δεδομένου ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αναμένεται να χρειάζονται λιγότερες επισκευές όταν γερνούν σε σύγκριση με τα συμβατικά αυτοκίνητα, μπορεί να θεωρηθούν πιο ελκυστικά ως προσφορά λειτουργικής μίσθωσης μεταχειρισμένων αυτοκινήτων. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό μπορεί να αποδειχθεί ένα σημαντικό και διαρκές πλεονέκτημα για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα στην αγορά μισθώσεων.

Η αλυσίδα leasing προσφέρει λειτουργική μίσθωση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε μία βάση που εκτείνεται σε πολλούς πελάτες. Όταν το αυτοκίνητο είναι καινούργιο, μπορεί να μισθωθεί από εταιρείες ενοικίασης αυτοκινήτων, εταιρείες ανταλλαγής αυτοκινήτων και άλλους πελάτες μίσθωσης καινούριων αυτοκινήτων στην ίδια περίπου τιμή και με τους ίδιους όρους με αντίστοιχα νέα αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης. Στο δεύτερο, τρίτο και πιθανώς τέταρτο πρόγραμμα χρηματοδοτικής μίσθωσης, η τυπική κατηγορία πελατών είναι νοικοκυριά τα οποία κατέχουν τουλάχιστον 2 αυτοκίνητα με τα οποία κινούνται καθημερινά. Ο λόγος για να επικεντρωθεί μία εταιρεία leasing σε νοικοκυριά με δύο αυτοκίνητα είναι ότι το συμβατικό αυτοκίνητο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις όπου το ηλεκτρικό αυτοκίνητο δεν επαρκεί.

Όσο πιο παλιό είναι το αυτοκίνητο, τόσο πιο οικονομικό είναι ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο σε σύγκριση με ένα συμβατικό αυτοκίνητο. Σε όλη την αλυσίδα χρηματοδοτικής μίσθωσης, η πρόταση αξίας πρέπει να συγκριθεί με τη μίσθωση ενός συμβατικού αυτοκινήτου ανά χιλιόμετρο, καθώς το κόστος χρηματοδοτικής μίσθωσης θα είναι υψηλότερο για όλα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, αλλά συνυπολογίζοντας το χαμηλότερο κόστος λειτουργίας γίνεται πολύ πιο συγκρίσιμο, ακόμη και χαμηλότερο.

Συγκριτικά πλεονεκτήματα

Σε σχέση με το παραδοσιακό μοντέλο πώλησης παρατηρούμε τα ακόλουθα:

Συγκριτικό πλεονέκτημα: Η μίσθωση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου δίνει στους πελάτες ηρεμία, ειδικά σε σύγκριση με την κατοχή ενός παλιού συμβατικού αυτοκινήτου. Μια προσφορά χρηματοδοτικής μίσθωσης για κάθε προτίμηση ηλικίας αυτοκινήτου είναι καινοτόμος και επιθυμητή σε πολλές χώρες, ειδικά προσφορές για μίσθωση αυτοκινήτων με ηλικία που ταιριάζει στις ανάγκες νοικοκυριών για χρήση ενός δεύτερου αυτοκινήτου.

Συμβατότητα με κοινωνικοπολιτισμικές αξίες και πεποιθήσεις: Πολλοί επιβάτες αυτοκινήτων γνωρίζουν καλά το αυξημένο αποτύπωμα άνθρακα της μετακίνησής τους, αλλά δυσκολεύονται να βρουν εύλογες εναλλακτικές λύσεις οι οποίες να είναι οικονομικά συμφέρουσες. Η μίσθωση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου θα μπορούσε να προσφέρει μια ανταγωνιστική λύση σε αυτό το δίλημμα.

Εργονομία: Όλα τα έξοδα και ο χρόνος μίσθωσης είναι γνωστά κατά το στάδιο υπογραφής της σύμβασης. Ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο μπορεί συχνά να θεωρηθεί ως απλούστερο στην καθημερινή χρήση από ένα συμβατικό αυτοκίνητο, καθώς δεν απαιτούνται πρόσθετα δρομολόγια σε πρατήρια καυσίμων για ανεφοδιασμό, παρά μόνο φόρτιση στην οικία ή στον τόπο εργασίας του καταναλωτή.

Ευκολία δοκιμής: Το επιχειρηματικό μοντέλο παρέχει ευκαιρίες για τη σύγκριση του τρόπου με τον οποίο ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο ταιριάζει με τον τρόπο ζωής του

καταναλωτή με μια δέσμευση που περιορίζεται στη μικρότερη προσφερόμενη περίοδο μίσθωσης.

Παράγοντες βιωσιμότητας

Ο πιο βασικός παράγοντας βιωσιμότητας σε αυτό το επιχειρηματικό μοντέλο είναι ο περιορισμός απόστασης στην εγγύηση της μπαταρίας. Οι επιβάτες εταιρικών αυτοκινήτων συνήθως οδηγούν πάνω από 20.000 χιλιόμετρα/έτος, τα οποία ξεπερνούν το χιλιομετρικό όριο της εγγύησης της μπαταρίας. Ο δεύτερος πιο σημαντικός παράγοντας είναι ο χρόνος εγγύησης της μπαταρίας. Πολλοί πελάτες είναι πρόθυμοι να χρησιμοποιήσουν αυτοκίνητα τα οποία δεν καλύπτονται πλέον από την εργοστασιακή εγγύηση. Ο τρίτος πιο σημαντικός παράγοντας είναι ότι η διαφορά στο κόστος λειτουργίας μεταξύ ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου και ενός συμβατικού αυτοκινήτου πρέπει να καλύπτει τη διαφορά της τιμής αγοράς. Καθώς τα αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης γίνονται πιο αποδοτικά σε καύσιμα, αυτή η διαφορά κόστους μπορεί να μειωθεί και ως εκ τούτου το επιχειρηματικό μοντέλο να μην είναι επιτυχές.

Συμπεράσματα

Όπως αναλύθηκε παραπάνω, μπορούν να σχεδιαστούν εναλλακτικά επιχειρηματικά μοντέλα αντικατάστασης του πιο συνηθισμένου μοντέλου «πώλησης και απεμπλοκής» για να επιτευχθεί μια πιο επιτυχημένη εμπορική διάδοση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Ο τομέας της οικονομίας παρέχει πληθώρα επιχειρηματικών μοντέλων που έχουν δοκιμαστεί σε διάφορες επιχειρήσεις και επιχειρηματικές συνθήκες τα τελευταία χρόνια, ενώ η έρευνα σε επιχειρηματίες και νεοσύστατες εταιρείες δίνει τη δυνατότητα επαλήθευσης των μοντέλων με χαμηλό κόστος.

Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων διαθέτουν σημαντική εμπειρία σε επιχειρηματικά μοντέλα και σε ζητήματα καινοτομίας. Παρ' όλα αυτά, πολλοί από αυτούς χρησιμοποιούν το ίδιο επιχειρηματικό μοντέλο για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με εκείνο των συμβατικών αυτοκινήτων. Ωστόσο, η Tesla Motors, η οποία επικεντρώνεται αποκλειστικά στην κατασκευή αμιγώς ηλεκτρικών αυτοκινήτων, δείχνει πολύ μεγαλύτερη διάθεση να αναπτύξει το επιχειρηματικό της μοντέλο σύμφωνα με τις

αρχές και τις θεωρίες των επιχειρηματικών μοντέλων που έχουν αποδειχθεί επιτυχημένες για την εισαγωγή νέων τεχνολογιών στην αγορά. Η συγκεκριμένη καινοτόμα προσέγγιση ανταμείβεται από την αγορά μέσω εντυπωσιακών πωλήσεων.

3.4. Επιχειρηματική Προσέγγιση των Σταθμών Ηλεκτρικής Φόρτισης

Η αλυσίδα ενός επιχειρηματικού μοντέλου σταθμών ηλεκτρικής φόρτισης έχει πολλαπλά διακριτά μέρη που αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της υπηρεσίας, αλλά κανένας τομέας δεν έχει αυτόνομα κάποιο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα προς τον καταναλωτή. Οι τέσσερις κύριοι τομείς δραστηριότητας είναι: παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, κατασκευή, εγκατάσταση και συντήρηση του σταθμού φόρτισης, ανάπτυξη, συντήρηση και λειτουργία λογισμικού για τη διαχείριση του δικτύου, καθώς και οι παρεχόμενες υπηρεσίες στον τελικό καταναλωτή.

Πιο συγκεκριμένα, το σύνολο των στοιχείων σε έναν σταθμό ηλεκτρικής φόρτισης που αποδίδουν αξία στο προϊόν - υπηρεσία που παρέχεται στον τελικό καταναλωτή αναλύεται στους ακόλουθους τομείς:

1. Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας

Στην προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνονται όλα τα στάδια από το εργοστάσιο παραγωγής (συμπεριλαμβανομένων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της διεσπαρμένης παραγωγής) έως τη μετάδοση και τη διανομή στον σταθμό ηλεκτρικής φόρτισης. Περιλαμβάνονται επίσης όλες οι επενδύσεις στις υποδομές του δικτύου: Ιδιαίτερα στα δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης θα απαιτηθούν σημαντικές αναβαθμίσεις. Με τους τρέχοντες ρυθμούς διάδοσης των ηλεκτρικών οχημάτων, η επάρκεια του υφιστάμενου δικτύου δεν αποτελεί περιορισμό, λόγω της κυριαρχίας των φορτιστών AC στους σταθμούς φόρτισης. Μελλοντικά θα χρειαστεί περισσότερη ισχύς ώστε να υποστηριχθούν φορτιστές DC ταχείας φόρτισης, ιδιαίτερα σε εκείνους που θα εγκατασταθούν σε αστικούς κόμβους ταχείας φόρτισης ή κατά μήκος μεγάλων αυτοκινητοδρόμων.

2. Εξοπλισμός σταθμών ηλεκτρικής φόρτισης

Αποτελείται από το σύνολο του εξοπλισμού – hardware του σταθμού ηλεκτρικής φόρτισης, συμπεριλαμβανομένων όλων των εξαρτημάτων, της εγκατάστασης και των εργασιών συντήρησης. Από το 2011 και μετά υπήρξαν σημαντικές μειώσεις στο κόστος του εξοπλισμού τόσο των φορτιστών AC όσο και των φορτιστών DC. Η πτωτική τάση στη μείωση κόστους αναμένεται να συνεχιστεί και στο μέλλον, αν και με βραδύτερο ρυθμό. Νέες τεχνολογίες, όπως η επαγωγική - ασύρματη φόρτιση, δοκιμάζονται προς το παρόν και είναι πιθανό να διατεθούν μαζικά στο εμπόριο έως το 2030.

3. Λογισμικό

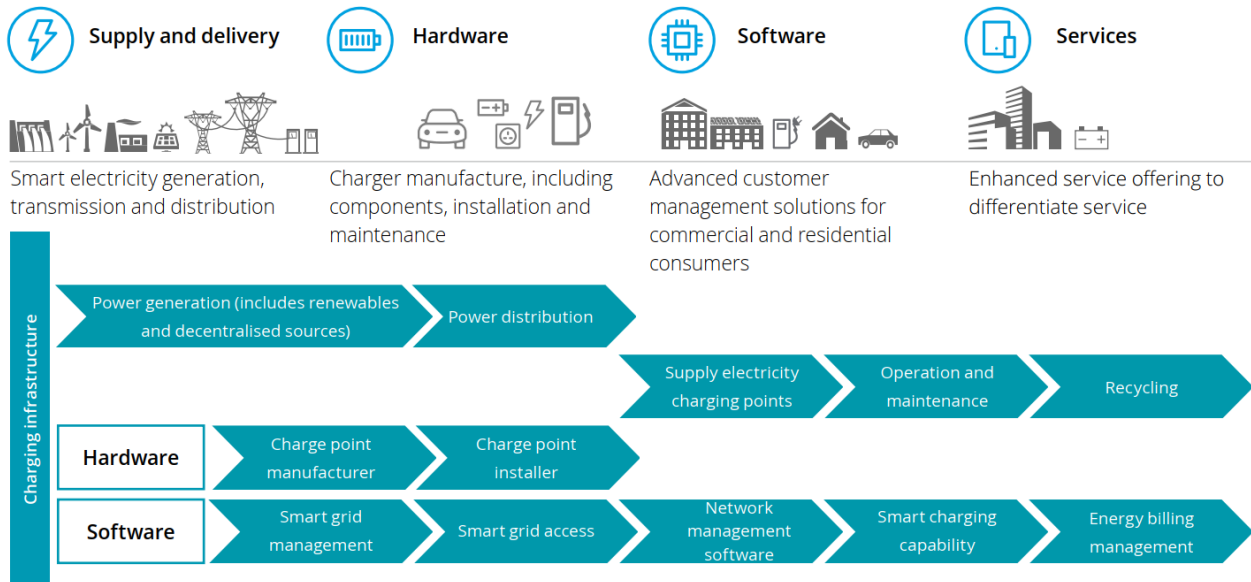
Βασικό κομμάτι της φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι το λογισμικό - software το οποίο μπορεί να πωλείται είτε σε συνδυασμό με τον εξοπλισμό – hardware είτε ως αυτόνομη υπηρεσία. Περιλαμβάνει τις λειτουργίες του back office, όπως η χρέωση, με διαφορετικές κλίμακες τιμολόγησης για τον χρόνο ή την ταχύτητα φόρτισης, καθώς και τη μέτρηση της παρεχόμενης ενέργειας. Περιλαμβάνει επίσης παροχή δεδομένων για τη διαχείριση του δικτύου φορτιστών, τη διεπαφή με τον χρήστη συνήθως σε μορφή mobile ή web application, οι οποίες βοηθούν τους χρήστες να εντοπίζουν κενά σημεία φόρτισης και να κλείνουν συνεδρίες φόρτισης.

Στο μέλλον, το λογισμικό θα επιτρέψει πιο πολύπλοκες δυνατότητες και υπηρεσίες. Για παράδειγμα, οι ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων θα μπορούν να εισάγουν παραμέτρους, όπως το πότε χρειάζονται πλήρως φορτισμένο το ηλεκτρικό τους όχημα, εάν θέλουν να χρησιμοποιήσουν πράσινη ενέργεια ή να φορτίζουν όταν οι τιμές της ενέργειας είναι φθηνότερες. Μπορεί επίσης να συνδεθεί με οργανισμούς λιανικής που προσφέρουν προγράμματα επιβράβευσης ή εκπτώσεις σε αγαθά και υπηρεσίες.

4. Υπηρεσίες προς τον τελικό χρήστη

Οι φορείς εκμετάλλευσης των σταθμών φόρτισης θα επιδιώξουν να προσφέρουν μια σειρά υπηρεσιών για να διαφοροποιηθούν σε μια ολοένα και πιο ομογενοποιημένη αγορά. Οι ιδιοκτήτες των σταθμών θα προσφέρουν ανέσεις στους οδηγούς κατά τη φόρτιση και προβλέπεται ότι θα δημιουργηθούν νέοι ρόλοι σε αυτήν την εξελισσόμενη

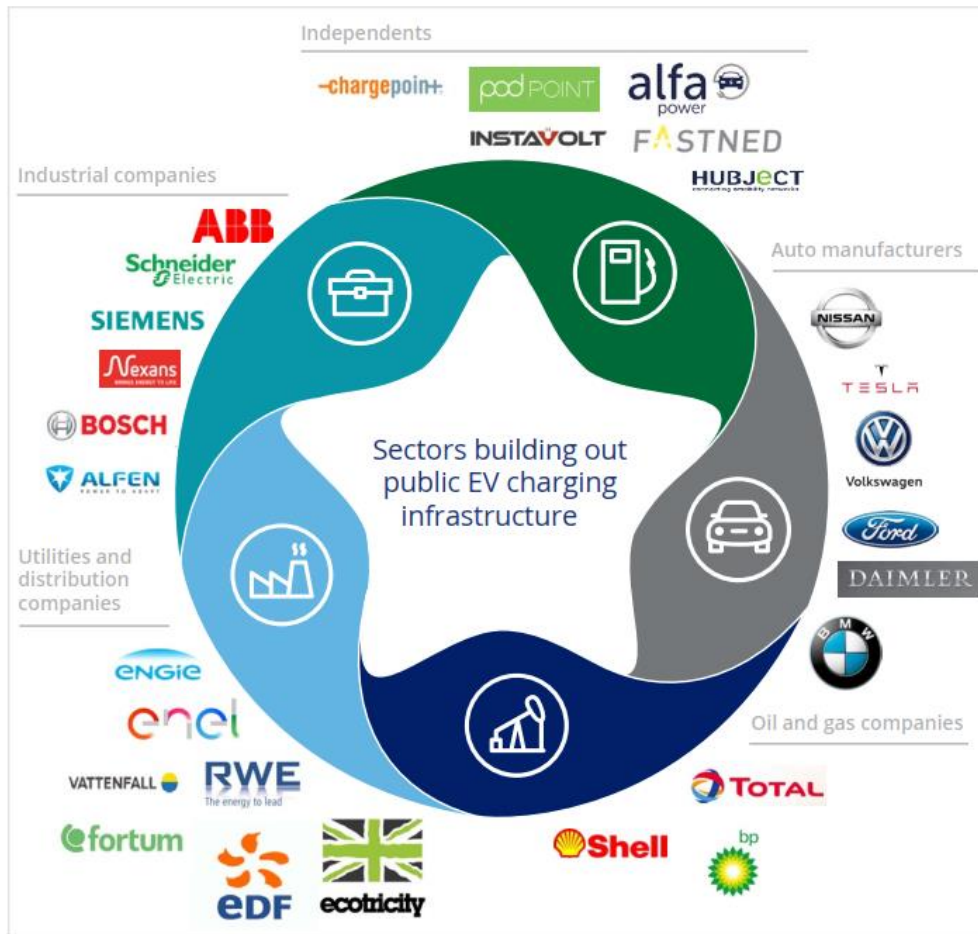
αγορά, όπως εκείνοι του σχεδιαστή ή του προγραμματιστή υποδομής φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων ή επαγγελματιών ηλεκτροκίνησης, οι οποίοι θα συνδέουν τους παρόχους με τους πελάτες μέσα από ευέλικτα εμπορικά σχήματα.



Εικόνα 3.4. – Αλυσίδα παραγωγής αξίας σταθμών φόρτισης (Πηγή: Deloitte UK)

3.4.1. Εταιρείες με συμμετοχή στον τομέα της ηλεκτρικής φόρτισης

Η αγορά υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων είναι νέα και κατακερματισμένη, ενώ εισέρχονται διαρκώς εταιρείες από διαφορετικούς τομείς. Οι εταιρείες που σχεδιάζουν να είναι ανταγωνιστικές στον συγκεκριμένο τομέα θα πρέπει να δράσουν γρήγορα στο πρώτο στάδιο της επένδυσης, αλλά στη συνέχεια να είναι έτοιμες να περιμένουν για την απόσβεση των κεφαλαίων τους. Η φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων δεν είναι προς το παρόν κερδοφόρα, αλλά αυτό υπολογίζεται ότι θα αλλάξει όταν τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελέσουν τουλάχιστον το 5 % των συνολικών οχημάτων που κυκλοφορούν στους δρόμους.



Εικόνα 3.5. – Εταιρείες ανά τομέα της οικονομίας οι οποίες συμμετέχουν στην αγορά υποδομών ηλεκτρικής φόρτισης (Πηγή: Deloitte UK)

Εταιρείες παραγωγής και διανομής ενέργειας

Οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και οι εταιρείες διανομής ηλεκτρικής ενέργειας πρόκειται να επωφεληθούν σε πολύ μεγάλο βαθμό από τον εξηλεκτισμό της αυτοκίνησης. Πέραν από την προσφορά πακέτων για τους υπάρχοντες πελάτες τους και την παροχή υπηρεσιών γύρω από την οικιακή φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων, πολλές εταιρείες συμμετέχουν σε δημόσιες εγκαταστάσεις υποδομής φόρτισης, ιδιαίτερα σε σημεία ταχείας φόρτιση DC. Οι συγκεκριμένες εταιρείες έχουν εμπειρία σε πολλά μέρη της αλυσίδας αξιών. Η γνώση τους για το δίκτυο μεταφοράς και διανομής τις καθιστά ικανές εντοπίσουν καλές τοποθεσίες για νέες επενδύσεις. Πολλοί πάροχοι εξαγοράζουν μικρότερους ανεξάρτητους παρόχους ώστε να αυξήσουν τη γεωγραφική τους κάλυψη και την επάρκεια σε ισχύ.

Βιομηχανικές εταιρείες

Μεγάλες βιομηχανικές εταιρείες όπως η Schneider Electric και η Siemens επενδύουν σε υποδομές σημείων φόρτισης, ιδιαίτερα με τη διεύρυνση των σταθμών ταχείας φόρτισης. Οι πιο επιτυχημένες εταιρείες θα είναι εκείνες με εξειδίκευση στα συστήματα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και θα μπορούν να προσφέρουν πλατφόρμες που θα συνδυάζουν hardware με software, προσφέροντας ένα εργονομικό interface προς τον τελικό χρήστη.

Κατασκευαστές αυτοκινήτων

Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων έχουν τα περισσότερα οφέλη εξασφαλίζοντας ότι υπάρχει επαρκής υποδομή για να υποστηρίξει την υιοθέτηση ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Δεν κατασκευάζουν οι ίδιοι τους φορτιστές (η Tesla είναι η εξαίρεση εδώ) αλλά συνήθως συνεργάζονται με παρόχους φορτιστών για την προμήθεια σπιτιών και χώρων εργασίας^[71]. Έχουν βασιστεί σε δημόσια δίκτυα για να υποστηρίξουν οδηγούς ηλεκτρικών αυτοκινήτων, αν και αυτό έχει αρχίσει να αλλάζει

Ανεξάρτητες εταιρείες

Οι επιτυχημένες ανεξάρτητες εταιρείες έχουν διατηρήσει το μερίδιο αγοράς τους έναντι μεγαλύτερων βιομηχανικών εταιρειών χάρη στα ισχυρά τους software και τα ανεπτυγμένα κανάλια πωλήσεων. Ορισμένοι είναι καθετοποιημένοι πάροχοι ολοκληρωμένων υπηρεσιών, προμηθεύοντας hardware, software και λύσεις διαχείρισης δικτύου. Άλλες ανεξάρτητες εταιρείες εστιάζουν σε συγκεκριμένους τομείς του οικοσυστήματος των σταθμών φόρτισης, από την προμήθεια του εξοπλισμού, έως την ανάπτυξη λύσεων διαχείρισης δικτύου και την παροχή λύσεων ψηφιακών πληρωμών. Μια σειρά επιχειρήσεων start up δραστηριοποιούνται σε αυτόν τον χώρο χάρη σε συνεργασίες με μεγάλες εταιρείες της αυτοκίνησης.

Εταιρείες πετρελαίου και φυσικού αερίου

Δύο από τους μεγαλύτερους ανεξάρτητους παρόχους σταθμών ηλεκτρικής φόρτισης στην Ευρώπη εξαγοράστηκαν από εταιρείες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η Shell απέκτησε τη NewMotion, το μεγαλύτερο δίκτυο φορτιστών στην Ευρώπη, τον Οκτώβριο του 2017. Η BP εξαγόρασε την Chargemaster, τον μεγαλύτερο διαχειριστή

δικτύου στο Ηνωμένο Βασίλειο, τον Ιούνιο του 2018. Περισσότερες συμφωνίες είναι πιθανό να συμβούν στο μέλλον, καθώς οι μεγάλες εταιρείες πετρελαίου και φυσικού επιδιώκουν να διαφοροποιηθούν με την εξέλιξη της ηλεκτροκίνησης.

3.4.2. Επιχειρηματικά μοντέλα για την ιδιοκτησία και διαχείριση σταθμών ηλεκτρικής φόρτισης

Η δημόσια υποδομή φόρτισης είναι σημαντική για την εμπορική ενίσχυση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, αλλά είναι ασύμφορη κατά το αρχικό στάδιο της υιοθέτησής τους σε ευρεία κλίμακα. Το γεγονός αυτό οδήγησε σε μια ποικιλία επιχειρηματικών μοντέλων κατά τα τρία κύρια στάδια ανάπτυξης των σταθμών ηλεκτρικής φόρτισης:

1. Σχεδιασμός υποδομών ηλεκτρικής φόρτισης

Οι κυβερνήσεις σε πολλές ηγέτιδες χώρες στον τομέα της ηλεκτροκίνησης, όπως στη Νορβηγία και στην Ολλανδία, έχουν εκπονήσει φιλόδοξα σχέδια για την ανάπτυξη των υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Στη συνέχεια εναπόκειται στις τοπικές αρχές να υλοποιήσουν αποτελεσματικά αυτά τα σχέδια μέσω τοπικού σχεδιασμού, συντονισμού και κατάλληλης αδειοδότησης.

2. Χρηματοδότηση της επένδυσης

Η ενεργός συμμετοχή δημόσιων φορέων απαιτείται αρχικά για τη δημιουργία οικονομικών κινήτρων. Στη συνέχεια, ιδιώτες επενδυτές αναλαμβάνουν την ανάπτυξη σταθμών φόρτισης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η κυβέρνηση συνεχίζει να διαχειρίζεται τους σταθμούς φόρτισης.

3. Εγκατάσταση, ιδιοκτησία και διαχείριση

Η συγκεκριμένη φάση είναι κρίσιμη κατά τη θέση σε λειτουργία του σταθμού φόρτισης, ειδικά στα πρώτα στάδια, καθώς η διαχείριση της υποδομής δεν παρέχει ροή εσόδων που να επιτρέπει την απόσβεση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης.

Τα επόμενα χρόνια αναμένεται να επικρατήσουν κυρίως 3 επιχειρηματικά μοντέλα στην ανάπτυξη σταθμών ηλεκτρικής φόρτισης. Το δημόσιο μοντέλο

είναι απαραίτητο για την εκκίνηση της επένδυσης στις περισσότερες από τις πιο ώριμες αγορές. Αυτό είναι πιθανό να συνεχιστεί, για να διασφαλιστεί η δίκαιη διανομή των δημόσιων φορτιστών ως δημόσιων αγαθών. Το μοντέλο χρησιμότητας προϋποθέτει τη συμμετοχή μίας εταιρείας με σημαντικά κεφάλαια, η οποία θα έχει τη δυνατότητα να εξαγοράσει και να κατέχει μία καθετοποιημένη αλυσίδα ενός σταθμού φόρτισης, από τον βασικό εξοπλισμό μέχρι τις υπηρεσίες τον τελικό καταναλωτή. Εταιρείες πετρελαίου και φυσικού αερίου όπως η Shell και η BP αναμένεται να αποκτήσουν ηγετικό ρόλο στον συγκεκριμένο τομέα έως το 2030. Οι διάφορες προσεγγίσεις στις υποδομές φόρτισης θα επιτρέψουν σε ορισμένες μικρότερες, ανεξάρτητες επιχειρήσεις να αποκτήσουν ένα μερίδιο της αγοράς. Το βασικό συμπέρασμα από τα δεδομένα της αγοράς έως σήμερα είναι ότι πολύπλευρες και συνεργατικές προσεγγίσεις είναι οι πιο επιτυχημένες στην προώθηση της πρώιμης ανάπτυξης των υποδομών φόρτισης ^[72].

Τα τρία βασικά επιχειρηματικά μοντέλα ανάπτυξης σταθμών ηλεκτρικής φόρτισης αναλύονται παρακάτω:

1. Δημόσιο μοντέλο

Δημόσιοι φορείς καταρτίζουν σχέδια και προσφέρουν δημόσια χρηματοδότηση την οποία χρησιμοποιούν οι ιδιωτικές εταιρείες για να ανακτήσουν τουλάχιστον ένα μέρος του επενδυτικού κεφαλαίου. Το δημόσιο μοντέλο είναι το επικρατέστερο μέχρι σήμερα σε πολλές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι κυβερνήσεις παρέχουν συνεχή υποστήριξη στην υιοθέτηση ηλεκτροκίνητων οχημάτων και στην ανάπτυξη των υποδομών φόρτισης. Πιο συγκεκριμένα, λαμβάνουν μια ποικιλία πρωτοβουλιών πολιτικής και εφαρμόζουν μία σειρά από προγράμματα χρηματοδότησης, όπως τη βοήθεια για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων, την εγκατάσταση σημείων φόρτισης στο σπίτι, στην εργασία και σε δημόσιες εκτάσεις που ανήκουν στις τοπικές αρχές.

Η αποτελεσματικότητα του δημόσιου μοντέλου ποικίλλει ανάλογα την περιοχή εφαρμογής. Οι πιο σημαντικές δυσκολίες εντοπίζονται σε τρεις βασικούς

τομείς: Στη χρηματοδότηση, την τεχνική εξειδίκευση και τον συντονισμό με εταιρείες δικτύων διανομής, με αποτέλεσμα η αποτελεσματικότητα της γεωγραφικής κάλυψης να διαφέρει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με την περιοχή εφαρμογής.

Το δημόσιο μοντέλο είναι πιθανό να παραμείνει κυρίαρχο σε περιοχές όπου η επένδυση είναι δύσκολη για τις ιδιωτικές εταιρείες, είτε επειδή η πελατειακή βάση είναι μικρή είτε επειδή το κόστος σύνδεσης στο δίκτυο είναι υψηλό. Ειδικότερα, η παροχή σταθμών ταχείας φόρτισης σε επαρχιακές περιοχές θα απαιτήσει πιθανώς κάποια μορφή κρατικής επιδότησης. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι τοπικές αρχές θα πρέπει να συνεργαστούν με άλλους κυβερνητικούς φορείς, οργανισμούς αυτοκινητιστών, φορείς προώθησης του τουρισμού, παρόχους σταθμών φόρτισης και εταιρείες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας για τον εντοπισμό αμοιβαία αποδεκτών λύσεων.

2. Μοντέλο χρησιμότητας

Σε αυτό το μοντέλο, οι εταιρείες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας χρηματοδοτούν και κατέχουν τους σταθμούς φόρτισης και ανακτούν το κόστος επένδυσης, λειτουργίας και συντήρησης μέσω των λογαριασμών ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό το μοντέλο, που επικρατεί στην Ευρώπη, μπορεί να επιτρέψει την ταχεία ανάπτυξη αρχικά ασύμφορων υποδομών φόρτισης, απαραίτητων όμως για την αρχική υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων, που ιδιώτες είναι απρόθυμοι να αναπτύξουν, όπως σημεία φόρτισης σε οικιστικές περιοχές. Πολλοί πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας παρέχουν ήδη προνομιακά πακέτα στους χρήστες για φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων στο σπίτι. Οι πάροχοι είναι πλέον σε διαδικασία επενδύσεων σε δημόσιες υποδομές φόρτισης, είτε αναπτύσσοντας το δικό τους δίκτυο, είτε διαχειρίζοντας τρίτα δίκτυα. Τέλος, ορισμένες εταιρείες επιδιώκουν να αναπτύξουν δίκτυο ηλεκτρικής φόρτισης μέσω της εξαγοράς μικρότερων ανεξάρτητων παρόχων.

3. Ολοκληρωμένο μοντέλο

Στο ολοκληρωμένο μοντέλο οι ιδιωτικές εταιρείες έχουν τον πρωταγωνιστικό ρόλο: Ανεξάρτητες εταιρείες, κατασκευαστές αυτοκινήτων, μεγάλες εταιρείες πετρελαίου και φυσικού αερίου, κατασκευαστές hardware και άλλες εταιρείες νεοεισερχόμενες στον τομέα της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων λειτουργούν σε συγκεκριμένους τομείς και συνεργάζονται μεταξύ τους για την παροχή μίας ολοκληρωμένης υπηρεσίας φόρτισης. Γενικά, η υποδομή εγκαθίσταται και διαχειρίζεται από τους ιδιοκτήτες της ή από εξειδικευμένες εταιρείες στις οποίες οι ιδιοκτήτες αναθέτουν σε μορφή *outsource* αυτές τις δραστηριότητες.

Ο ρόλος του διαχειριστή είναι μια σημαντική πτυχή του συγκεκριμένου μοντέλου. Ξενοδοχεία, καταστήματα, χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων και άλλες εγκαταστάσεις εγκαθιστούν σημεία φόρτισης ως κίνητρο ή επιπλέον όφελος για τους πελάτες. Οι εταιρείες εκμετάλλευσης αυτοκινητοδρόμων έχουν γίνει σημαντικοί συνεργάτες με τις εταιρείες hardware, software και παρόχους ενέργειας για να επωφεληθούν από τις προνομιακές τοποθεσίες τους.

Η κύρια πρόκληση που αντιμετωπίζει αυτό το μοντέλο είναι η αξιοπιστία των μελλοντικών ροών εσόδων για την απόσβεση της επένδυσης και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, ιδίως εάν ο πρωταρχικός στόχος είναι η παροχή πρόσθετων υπηρεσιών στους πελάτες. Καθώς ο αριθμός των ηλεκτρικών αυτοκινήτων που κυκλοφορούν αυξάνεται, τα ποσοστά χρήσης επίσης θα αυξηθούν και αυτό θα βελτιώσει τις οικονομικές επιδόσεις των σταθμών φόρτισης καθιστώντας τους μία πιο ελκυστική μορφή επένδυσης.

3.5. Πολιτικές για την Εμπορική Ενίσχυση των Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων

Η μετάβαση από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν ήταν εφικτή έως ότου η τεχνολογία μπαταριών ιόντων λιθίου διαδοθεί από τα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης στις εφαρμογές της αυτοκινητοβιομηχανίας το 2010. Η τρέχουσα τεχνολογία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, αν και πολύ βελτιωμένη από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα πρώτης γενιάς, παραμένει μή συμφέρουσα για την πλειοψηφία των καταναλωτών χωρίς κυβερνητική υποστήριξη. Οι πιο συντηρητικοί καταναλωτές, καθώς και εκείνοι που δεν έχουν τη δυνατότητα για ένα δεύτερο συμβατικό ή υβριδικό αυτοκίνητο, προβληματίζονται για την υψηλή τιμή αγοράς των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, την περιορισμένη αυτονομία οδήγησης, τον μεγάλο χρόνο φόρτισης, τη μείωση ζωής της μπαταρίας και τη χαμηλή αξία μεταπώλησης.

Τρεις διαφορετικές χώρες και μία Πολιτεία των ΗΠΑ οι οποίες πρωτοπορούν στην εμπορική διείσδυση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων μπορούν να αποτελέσουν παράδειγμα ως προς τις κατάλληλες πολιτικές για τον αποτελεσματικό εξηλεκτρισμό της αυτοκίνησης στην Ελλάδα και την Ευρώπη. Οι πολιτικές που έχουν ακολουθηθεί στα συγκεκριμένα case studies δείχνουν να ξεπερνούν τα μειονεκτήματα της ηλεκτροκίνησης και το δισταγμό των καταναλωτών που αναλύθηκαν παραπάνω. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται επιγραμματικά οι πολιτικές που έχουν ακολουθήσει Η Νορβηγία, η Καλιφόρνια, η Γερμανία και η Κίνα για τη διάδοση της ηλεκτροκίνησης σε ευρεία κλίμακα.

Jurisdiction	Policy Drivers	Pro-PEV Policy Instruments
California	Urban Air Quality	Zero Emission Vehicle Mandate
	Climate Change	Car-Pool Lane Access for PEV Owners
	Economic Development	Consumer Subsidies for PEV Purchasers
China	Energy Security	Producer Subsidies for PEVs
	Economic Development	Restrictions on Inner City Use of Conventional Vehicles
Germany	Urban Air Quality	Consumer Subsidies for PEVs
	Climate Change	EU CO ₂ Standards
	Economic Development	
Norway	Climate Change	Heavy Taxation of Conventional Vehicles

Πίνακας 3.4. – Κατευθυντήριες πολιτικές και μέτρα για την εμπορική διάδοση της ηλεκτροκίνησης στα case studies της Νορβηγίας, της Καλιφόρνια, της Γερμανίας και της Κίνας

Η Νορβηγία πέτυχε σχεδόν 80% διείσδυση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην αγορά από το 2010 έως το 2020 και σχεδιάζει να επιτύχει 100% εξηλεκτρισμό της αυτοκίνησης έως το 2030. Η κεντρική της πολιτική ήταν η φορολόγηση των συμβατικών οχημάτων στο σημείο όπου οι καταναλωτές εξοικονομούν σημαντικά χρήματα κατά την αγορά επιλέγοντας ένα ηλεκτρικό αντί για ένα συμβατικό όχημα. Ωστόσο, για να εφαρμοστεί μία παρόμοια πολιτική και σε άλλες χώρες θα πρέπει να προηγηθεί συστηματική έρευνα για τον τρόπο αποδοχής της από πολίτες άλλων χωρών. Οι πολίτες των περισσότερων χωρών δεν διαθέτουν το βιοτικό επίπεδο ενός μέσου Νορβηγού πολίτη. Μία ενδεχόμενη βαριά φορολόγηση σε συμβατικά οχήματα σε άλλες χώρες θα μπορούσε να αποτελέσει ρίσκο για τους εκάστοτε πολιτικούς.

Η Καλιφόρνια έχει ξεκινήσει την προώθηση των ηλεκτρικών οχημάτων από το 1990, περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη περιοχή κόσμου. Η Πολιτεία έχει εφαρμόσει ένα μείγμα πολιτικής το οποίο συνδυάζει μέτρα μηδενικών ρύπων προς τους κατασκευαστές αυτοκινήτων σε συνδυασμό με οφέλη – προνόμια προς τους καταναλωτές ώστε να τονωθούν οι πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων. Στόχος είναι η εμπορική διείσδυση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο 60% έως το 2030 και στο 100% έως το 2035. Το ποσοστό διείσδυσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Καλιφόρνια ξεπέρασε το 10% στις αρχές του 2021, αλλά έρευνες δείχνουν ότι οι περισσότεροι καταναλωτές στην Καλιφόρνια δεν είναι ακόμη έτοιμοι για μία ριζική αλλαγή στις προσωπικές τους μεταφορές ^[73]. Απαιτείται περισσότερη έρευνα για να καθοριστεί ο τρόπος με τον οποίο οι καταναλωτές μπορούν να πειστούν να αγοράσουν και να χρησιμοποιήσουν ηλεκτρικά οχήματα σε μαζική κλίμακα. Οι περιορισμοί για μηδενικούς ρύπους στους κατασκευαστές αυτοκινήτων βοηθούν ώστε ο κλάδος της αυτοκίνησης να προωθεί ενεργά τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, αλλά η δεν επαρκούν από μόνοι τους ώστε να τα καταστήσουν επαρκώς ελκυστικά στον τελικό καταναλωτή.

Από την άλλη πλευρά, η Γερμανία, λόγω της δεσπίζουσας θέσης της στην τεχνολογία κινητήρων ντίζελ και του μακροπρόθεσμου ενδιαφέροντος για το υδρογόνο, υστερεί ακόμα στη μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση συγκριτικά με τη Νορβηγία και την Καλιφόρνια. Το σκάνδαλο εξαπάτησης των εκπομπών ρύπων της Volkswagen το 2015 με τους κινητήρες diesel, γνωστό στην κοινή γνώμη και ως dieselgate, ώθησε τις

γερμανικές αυτοκινητοβιομηχανίες και τη γερμανική κυβέρνηση στο να αλλάξουν στρατηγικοί και να γίνουν θερμοί υποστηρικτές της ηλεκτροκίνησης. Το 2020, η Γερμανία ξεπέρασε την Καλιφόρνια στη διείσδυση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, ενώ έχει χαράξει επιθετικές πολιτικές για την περαιτέρω διάδοσή της έως το 2025. Όλα τα παραπάνω ενισχύονται από την πολιτική της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η οποία δεν είναι πλέον υποχρεωμένη να προστατεύει την τεχνολογία ντίζελ και θέτει τόσο αυστηρά πρότυπα εκπομπών ρύπων, ώστε όλες οι Ευρωπαϊκές χώρες να αναγκαστούν να επιτύχουν σημαντική εμπορική διάδοση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων την περίοδο 2021-2030.

Τέλος, όσον αφορά το case study της Κίνας, εκεί εξετάστηκε η λύση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων πρωτίστως για λόγους βιομηχανικής πολιτικής και ενεργειακής ασφάλειας και δευτερευόντως για περιβαλλοντικούς λόγους. Μάλιστα η Κίνα έχει καταφέρει να προσφέρει στους καταναλωτές ηλεκτρικά αυτοκίνητα σε ένα ευρύ φάσμα τιμών, ξεκινώντας από τα πιο οικονομικά παγκοσμίως (έως και 4000 δολάρια ΗΠΑ ανά όχημα). Επιπλέον, η εφοδιαστική αλυσίδα ηλεκτρικών αυτοκινήτων της Κίνας αποτελείται από ένα μείγμα κινεζικών επιχειρήσεων startup, μεγάλων παραδοσιακών κινεζικών αυτοκινητοβιομηχανιών, καθώς και ξένων αυτοκινητοβιομηχανιών (συμπεριλαμβανομένης της Tesla). Το μεγάλο πρόβλημα της Κίνας στον εξηλεκτρισμό της αυτοκίνησης εντοπίζεται στις υποδομές φόρτισης. Τα περισσότερα κινεζικά νοικοκυριά ζουν σε πολυώροφα διαμερίσματα χωρίς επαρκή χώρο για φόρτιση στο σπίτι. Χωρίς λύση σε αυτήν την πρόκληση, η Κίνα θα δυσκολευτεί να επιτύχει τον εθνικό στόχο της εμπορικής διείσδυσης της ηλεκτροκίνησης στο 20% PEV έως το 2025.

Στις περισσότερες αγορές σε όλο τον κόσμο, η Toyota έχει πετύχει σημαντικό αριθμό πωλήσεων σε υβριδικά οχήματα, προσφέροντάς τα ως εναλλακτική λύση έναντι των ηλεκτρικών οχημάτων. Τα υβριδικά οχήματα αποτελούν μία ενδιάμεση τεχνολογία "γέφυρα" έως ότου οι καταναλωτές να είναι έτοιμοι για αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Η Ιαπωνία έχει πετύχει 35% εμπορική διείσδυση υβριδικών οχημάτων, ενώ σε αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα η διάδοση φτάνει μόνο στο 1%. Τα τελευταία δύο χρόνια, ο ρυθμός διείσδυσης των υβριδικών οχημάτων έχει αυξηθεί σημαντικά στην Ευρώπη και τις

Ηνωμένες Πολιτείες, παρόλο που τα υβριδικά οχήματα δεν ευνοούνται από κυβερνητικές πολιτικές όπως τα ηλεκτρικά οχήματα.

Συνοψίζοντας, για να κυριαρχήσουν τα ηλεκτρικά οχήματα σε εμπορικό επίπεδο και να γίνουν ο κύριος τρόπος μετακίνησης του μεγαλύτερου μέρους του πληθυσμού, απαιτείται η δημιουργία επαρκούς δημόσιας υποδομής φόρτισης για την εξυπηρέτηση των πολυάριθμων οδηγών που δεν έχουν τη δυνατότητα φόρτισης στο σπίτι ή στον χώρο εργασίας. Πέραν από τα μεγάλα αστικά κέντρα, ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στο πώς θα ικανοποιηθούν οι ανάγκες φόρτισης των κατοίκων της επαρχίας και των μικρών πόλεων, καθώς και των καταναλωτών χαμηλών εισοδημάτων. Σημαντικό ρόλο θα διαδραματίσουν επίσης οι δημόσιες υποδομές φόρτισης στους αυτοκινητόδρομους που συνδέουν τις πόλεις, καθώς και η επάρκεια σταθμών φόρτισης σε μικρές πόλεις.

3.6. Συμπεράσματα - Προτεινόμενες Μελλοντικές Ενέργειες

Ο εξηλεκτρισμός του τομέα των μεταφορών είναι επιτακτικός προκειμένου να αποφύγουμε τις χειρότερες επιπτώσεις της κλιματικής κρίσης. Είναι επίσης ένα ιδιαίτερα δύσκολο εγχείρημα το οποίο απαιτεί γρήγορη προσαρμογή και αλλαγές στην πράξη, τόσο από τις κυβερνήσεις όσο και από την ιδιωτική οικονομία. Εξαιτίας της μεγάλης διάρκειας ζωής των οχημάτων, είναι επείγον να ξεκινήσει αμέσως η μετάβαση σε υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα τα οποία θα μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές ρύπων. Οι απαραίτητες ενέργειες προς αυτή την κατεύθυνση συνοψίζονται στα ακόλουθα σημεία:

- **Μόνο τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν δραστικά τις εκπομπές ρύπων στον τομέα των μεταφορών.**

Στα ηλεκτρικά οχήματα ιδιωτικής χρήσης οι εκπομπές ρύπων από την παραγωγή μπαταριών, φωτοβολταϊκών panels και ανεμογεννητριών απαραίτητων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, είναι κατά πολύ μικρότερες σε σύγκριση με τους ρύπους που εκπέμπουν οι στόλοι των συμβατικών οχημάτων εσωτερικής καύσης. Το ίδιο ισχύει και στον τομέα των δημόσιων μεταφορών για λεωφορεία και φορτηγά.

- **Δεν είναι εφικτός ο εκμηδενισμός ρύπων σε κινητήρες εσωτερικής καύσης.**
Τα βιοκαύσιμα και άλλα εναλλακτικά καύσιμα για συμβατικά αυτοκίνητα δεν μειώνουν απαραίτητα τις εκπομπές ρύπων σε σύγκριση με τη βενζίνη και το diesel. Τα οχήματα φυσικού αερίου δεν προσφέρουν οφέλη για το περιβάλλον έναντι του ντίζελ και της βενζίνης, ειδικά όταν εάν ληφθούν υπόψη οι βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις θέρμανσης από μεθάνιο. Η παροχή εναλλακτικών καυσίμων με χαμηλούς ρύπους δεν είναι επαρκής για να αντικαταστήσει τη ζήτηση υγρών καυσίμων στον τομέα των μεταφορών. Ενώ τα υβριδικά οχήματα έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν εν μέρει με ηλεκτρική ενέργεια, στην πράξη οι οδηγοί εξακολουθούν να βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στον βενζινοκινητήρα.
- **Οι εκπομπές ρύπων κατά τη διάρκεια ζωής των ηλεκτρικών οχημάτων θα συνεχίσουν να βελτιώνονται.**
Το ποσοστό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται παγκοσμίως, ενώ σε πολλές χώρες η παροχή υδρογόνου θα έχει μειωμένους ρύπους. Υπολογίζεται ότι μέχρι το 2030 τα ηλεκτρικά οχήματα θα έχουν μειωμένους ρύπους καθ'όλη τη διάρκεια ζωής τους κατά 70% σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα.
- **Η μετάβαση στα ηλεκτρικά οχήματα είναι επιτακτική και επείγουσα.**
Η αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης απαιτεί σημαντικές προσπάθειες για το μετασχηματισμό της οικονομίας σε μία πράσινη οικονομία μηδενικών ρύπων μέχρι τα μέσα του 21^{ου} αιώνα. Εξαιτίας της μεγάλης διάρκειας ζωής των οχημάτων, οι πωλήσεις νέων επιβατικών αυτοκινήτων πρέπει να είναι σχεδόν εξ'ολοκλήρου ηλεκτρικές έως το 2030, προκειμένου να επιτευχθεί δραστική μείωση των εκπομπών ρύπων στον τομέα των μεταφορών έως το 2050. Αυτό είναι ακόμη πιο σημαντικό για λεωφορεία και φορτηγά μεγαλύτερης διάρκειας ζωής.

Βιβλιογραφία

- [1] ICCT (The International Council of Clean Transportation) (2014) Global comparison of lightduty vehicle fuel economy/GHG emissions standards (Update May 2014)
- [2] Yamamoto M (2010) Development of a Toyota plug-in hybrid vehicle. In: SAE World Congress & Exhibition, Detroit, MI, USA
- [3] Mi C, Abul Masrur M, Gao DW (2011) Hybrid electric vehicles: principles and applications with practical perspective. Wiley, Chichester
- [4] Michael AM et al (2011) The GM “Voltec” 4ET50 multi-mode electric transaxle. SAE Int J Engines 4(1):1102–1114
- [5] Miller JM (2006) Hybrid electric vehicle propulsion system architectures of the e-CVT type. IEEE Trans Power Electron 21(3):756–767
- [6] Karbowski D, Rousseau A, Pagerit S, Sharer P (2006) Plug-in vehicle control strategy: from global optimization to real-time application. In: 22nd Electric Vehicle Symposium, EVS22, Yokohama, Japan, 2006
- [7] Moura S, Callaway D, Fahty H, Stein J (2010) Tradeoffs between battery energy capacity and stochastic optimal power management in plug-in hybrid electric vehicles. J Power Sources 195:2979–2988
- [8] Tulpule P, Marano V, Rizzoni G (2009) Effects of different PHEV control strategies on vehicle performance. In: American Control Conference (ACC’09), 2009
- [9] Paganelli G, Guezennec Y, Rizzoni G (2002) Optimizing control strategy for hybrid fuel cell vehicle. In: SAE 2002 Transactions Journal of Engines V111-3
- [10] Tulpule P, Marano V, Rizzoni G (2010) Energy management for plug-in hybrid electric vehicles using equivalent consumption minimization strategy. Int J Elect Hybr Vehicles 2(4):329–350
- [11] Moura S, Callaway D, Fahty H, Stein J (2010) Tradeoffs between battery energy capacity and stochastic optimal power management in plug-in hybrid electric vehicles. J Power Sources 195:2979–2988
- [12] Tulpule P, Marano V, Rizzoni G, Hai Y, McGee R (2011) A statistical approach to assess the impact of road events on PHEV performance using real world data. In: SAE World Congress, April 2011

- [13] U.S. Energy Information Administration (2015) Annual energy outlook 2015 with projections to 2040
- [14] Ernst & Young (2010) Gauging interest for plug-in hybrid and electric vehicles in select Markets
- [15] SAE Hybrid Committee (2011) SAE charging configurations and ratings terminology.
- [16] Yilmaz M, Jrein P T (2012) Review of charging power levels and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles. In: Electric Vehicle Conference (IEVC), 2012 I.E. International, Greenville
- [17] Curtin R, Yevgeny S, Jamie M (2009) Plug-in hybrid electric vehicles. Reuters/University of Michigan, Surveys of Consumers
- [18] Gallagher KS, Muehlegger E (2011) Giving green to get green? Incentives and consumer adoption of hybrid vehicle technology. *J Environ Econ Manage* 61(1):1–15
- [19] Farmer C, Hines P, Dowds J, Blumsack S (2010) Modeling the impact of increasing PHEV loads on the distribution infrastructure. In: Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2010
- [20] Sioshansi R, Fagiani R, Marano V (2010) Cost and emissions impacts of plug-in hybrid vehicles on the Ohio power system. *Energy Pol* 38(11):6703–6712
- [21] Tulpule P, Marano V, Yurkovich S, Rizzoni G (2013) Economic and environmental impacts of a PV powered workplace parking garage charging station. *Appl Energy* 108:323–332
- [22] Xi X, Sioshansi R, Marano V (2013) Simulation-optimization model for location of a public electric vehicle charging infrastructure. *Transport Res D-Tr Environ* 22:60–69
- [23] Sioshansi R, Denholm P, Jenkin T (2012) Market and policy barriers to deployment of energy storage economics of energy and environmental. *Econ Energy Environ Policy* 1:47–63
- [24] Xi X, Sioshansi R, Marano V (2014) A stochastic dynamic programming model for co-optimization of distributed energy storage. *Energy Systems* 5(3):475–505
- [25] Silva V, Kieny C (2011) Impacts of EV on power systems and minimal control solutions to mitigate these. Essen, Germany, RWE Deutschland AG.
- [26] Christen D, Tschannen S, Biela J (2012) Highly efficient and compact DC-DC converter for ultra-fast charging of electric vehicles. In: 2012 15th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE/PEMC), Sep 2012, pp LS5d.3–1–LS5d.3–8
- [27] Khaligh A, Dusmez S (2012) Comprehensive topological analysis of conductive and inductive charging solutions for plug-in electric vehicles. *IEEE Trans Vehicular Technol* 61(8):3475–3489

- [28] Yilmaz M, Krein PT (2013) Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles. *IEEE Trans Power Electron* 28 (5):2151–2169
- [29] International Energy Agency (2015) Hybrid and electric vehicles annual report. <http://www.ieahev.org>.
- [30] Dickerman L, Harrison J (2010) A new car, a new grid. *IEEE Power Energy Mag* 8(2):55–61
- [31] Qian K, Chengke Z, Allan M, Yuan Y (2011) Modeling of load demand due to EV battery charging in distribution systems. *IEEE Trans Power Syst* 26(2):802–810
- [32] Mohagheghi S, Parkhideh B, Bhattacharya S (2012) Inductive power transfer for electric vehicles: potential benefits for the distribution grid. In: *Electric Vehicle Conference (IEVC), 2012 I.E. International, 2012*, pp 1–8
- [33] SAE electric vehicle and plug in hybrid electric vehicle conductive charge coupler (2012) SAE Std. J1772, Oct 2012
- [34] Mohagheghi S, Parkhideh B, Bhattacharya S (2012) Inductive power transfer for electric vehicles: potential benefits for the distribution grid. In: *Electric Vehicle Conference (IEVC), 2012 I.E. International, 2012*, pp 1–8
- [35] CHAdeMO Association. CHAdeMO Association & Protocol.
- [36] COM(2017) 652 final: ‘Towards the broadest use of alternative fuels - an Action Plan on Alternative Fuels Infrastructure’
- [37] <https://www.acea.be/statistics/tag/category/electric-and-alternative-vehicle-registrations>
- [38] ‘Electric surge: Carmakers’ electric car plans across Europe 2019-2025’, *Transport & Environment*, July 2019.
- [39] Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure.
- [40] Regulation (EU) 2019/631 of the European Parliament and of the Council of 17 April 2019 setting CO2 emission performance standards for new passenger cars and for new light commercial vehicles.
- [41] ‘Recharge EU: How many charge points will Europe and its Member States need in the 2020s’, *T&E*, January 2020.
- [42] SWD(2017) 365 final of 8.11.2017; SWD(2019) 29 final of 13.2.2019 including the NPFs of four Member States (Greece, Malta, Romania, Slovenia), which had not made the initial deadline for notification of 1 October 2017

- [43] Programme Support Action on ID and Data collection for Sustainable fuels in Europe (IDACS). Supported under Commission Decision C(2018) 146 final.
- [44] Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council on the framework for the deployment of Intelligent Transport Systems in the field of road transport, and the associated regulations, which should feed into National or Common Access Points that are established under that Directive.
- [45] Article 7(2)(c) of the TEN-T regulation and article 10(6) of the CEF regulation.
- [46] Since 2015, INEA has referred applicants to the Commission's 'Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020', issued in December 2014.
- [47] Anderson, E.; Lin, S.; Simester, D.; Tucker, C. Harbingers of Failure. *J. Mark. Res.* 2015, 52, 580–592.
- [48] Simester, D. Why Great New Products Fail. *MIT Sloan Management Review*. Spring. 2016.
- [49] International Energy Agency. In *Global EV Outlook 2021; Technology Report*; IEA: Paris, France, April 2021;
- [50] National Research Council. *Overcoming Barriers to Deployment of Plug-In Electric Vehicles*; National Academies Press: Washington, DC, USA, 2015; p. 113.
- [51] Jenn, A.; Lee, J.H.; Hardman, S.; Tal, G. An In-depth Examination of Electric Vehicle Incentives: Consumer Heterogeneity and Changing Response Over Time. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 2020, 132, 97–109.
- [52] EPA Fuel Economy Guide Model Year 2020 and Avg. BEV energy consumption, EPA Fuel Economy Guide Model Year 2020.
- [53] Don Norman. What Noise Does the Electric Car Make? *MIT Technology Review*, 7 February 2014.
- [54] Electric Vehicles Reduce Stress Behind the Wheel. 20 May 2018.
- [55] McDonald, Loren. EVAdoption Study. Supply: Model Availability and Price Discrepancy Between EVs and ICE Vehicles Remain a Top Hurdle to Mass Adoption in the US. 19 May 2019.
- [56] Cembalest, M. Eye on the Market; *Annual Energy Paper*; JP Morgan: New York, NY, USA, 2018.
- [57] MIT Energy Initiative. *Insights into Future Mobility*; MIT Energy Initiative: Cambridge, MA, USA, 2019.
- [58] Hsieh, I.L.; Menghsuan, S.P.; Chiang, Y.M.; Green, W.H. Learning Only Buys You So Much: Practical Limits on Battery Price Reduction. *Appl. Energy* 2019, 239, 218–224.

- [59] Michael Brian Schiffer. Taking Charge: The Electric Automobile in America; Smithsonian Institution Press: Washington, DC, USA, 1994; p. 187.
- [60] Olsen, P. Buying and Electric Car for a Cold Climate? Double Down on Range. Consumer Reports, 15 February 2019.
- [61] Jian, Y. Chinese Companies on Board to Expand EV Battery Swap Stations. Automotive News China, 27 May 2021.
- [62] Voelcker, J. How Much is a Replacement Chevy Bolt EV Electric-Car Battery. 9 June 2017.
- [63] Electric Vehicle Batteries and Warranties. 2 January 2019. Available online: Energysage.com
- [64] Gorzelany, J. Which Electric Cars Offer the Best Warranties? Insideevs News, 18 January 2019.
- [65] Adlen, N. Is Battery Degradation Still a Major Issue for Electric Cars? New Data Shows How Much Capacity EV Models Lose Over Time. 2020. Available online: tficar.com (accessed on 15 June 2021).
- [66] Mueller, D. Used EV Prices Are Finally Heating Up—A Little. Automotive News, 31 December 2018.
- [67] International Council on Clean Transportation paper - Lutsey & Nicholas, 2019.
- [68] Osterwalder A, Pigneur Y (2010) Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers. Wiley, Hoboken
- [69] Chesbrough H, Rosenbloom R (2002) The role of the business model in capturing value from innovation: evidence from Xerox Corporation’s technology spin-off companies. Ind Corp Change 11:529–555
- [70] Ariely D (2010) Predictably irrational, revised and expanded edition: the hidden forces that shape our decisions. HarperCollins, New York
- [71] Karkaria, Urvash (2018). Most Automakers turning to third parties to set up EV charging networks, Automotive News, 23 July, at <https://www.autonews.com/article/20180723/MOBILITY/180729957/automakers-turn-to-thirdparties-to-set-up-ev-charging-networks>
- [72] ICCT, *ibid*
- [73] Kurani, K.S.; Hardman, S. Automakers and Policymakers May Be on a Path to Electric Vehicles, Consumers Aren’t; Institute for Transportation Studies, University of California-Davis: Davis, CA, USA, 2017.